
ACADEMY
6
The Gran Turismo Magazine
PlayStation
NISSAN
nismo
2


NISSAN
a
Beyond the Apex
PlayStation.
NISSAN


WWW.SILVERS

GT ACADEMY

2008-2013

GT ACADEMY
2008-2013

「グランツーリスモ」で覚醒する
ドライビングの才能。

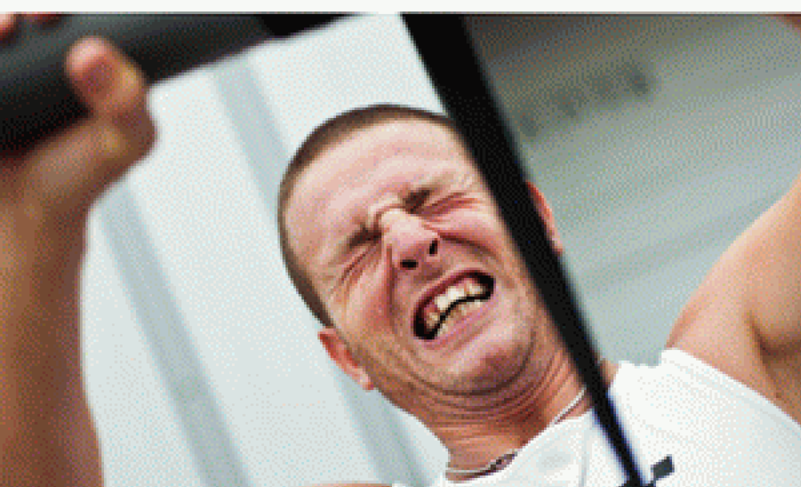







15TH ANNIVERSARY
NISSAN
nismo

モータースポーツの聖地で



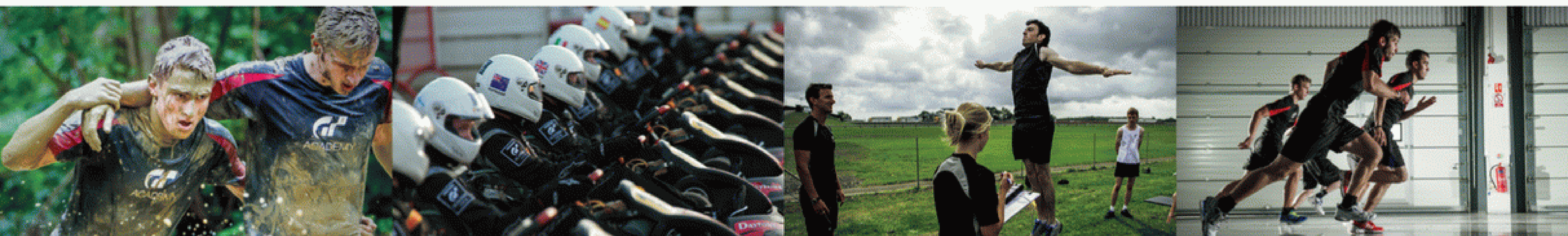






GT ACADEMY
2008-2013

あらゆる能力が試される。



GT ACADEMY
2008-2013

パワーも、駆動方式の選択も自由自在。
1000回のタイムトライアルだって不可能ではない。
ドライビングシミュレーターの世界では
現実をはるかに凌ぐドライビング体験が可能になる。

その豊かな可能性を証明するために
2008年に幕を開けたのがGTアカデミー。
グランツーリスモで腕を磨いたプレイヤーが
本物のレーシングドライバーを目指す夢のプロジェクトだ。



その開催地域は年を追って拡大している。
たとえば2012年には、ヨーロッパ、アメリカ
ロシア、中東、南アフリカを対象とし
合計140万人がオンライン予選を競った。

レーシングドライバーの夢を、もうあきらめることはない。
いつの日か、万雷の拍手に包まれたサーキットで
表彰台に立つ歓喜に酔いしれるのは
今「グランツーリスモ」に挑む、あなたかもしれない。



さらけ出されるのは
勝利への忠誠心。







GT ACADEMY
2008-2013

ここがスタートライン。
より過酷なゴールを目指すための。








ACADEMY
nismo
ACADEMY
PS3
NISSAN
PIRELLI

Beyond the Apex

Contents

The Gran Turismo Magazine
Beyond the Apex



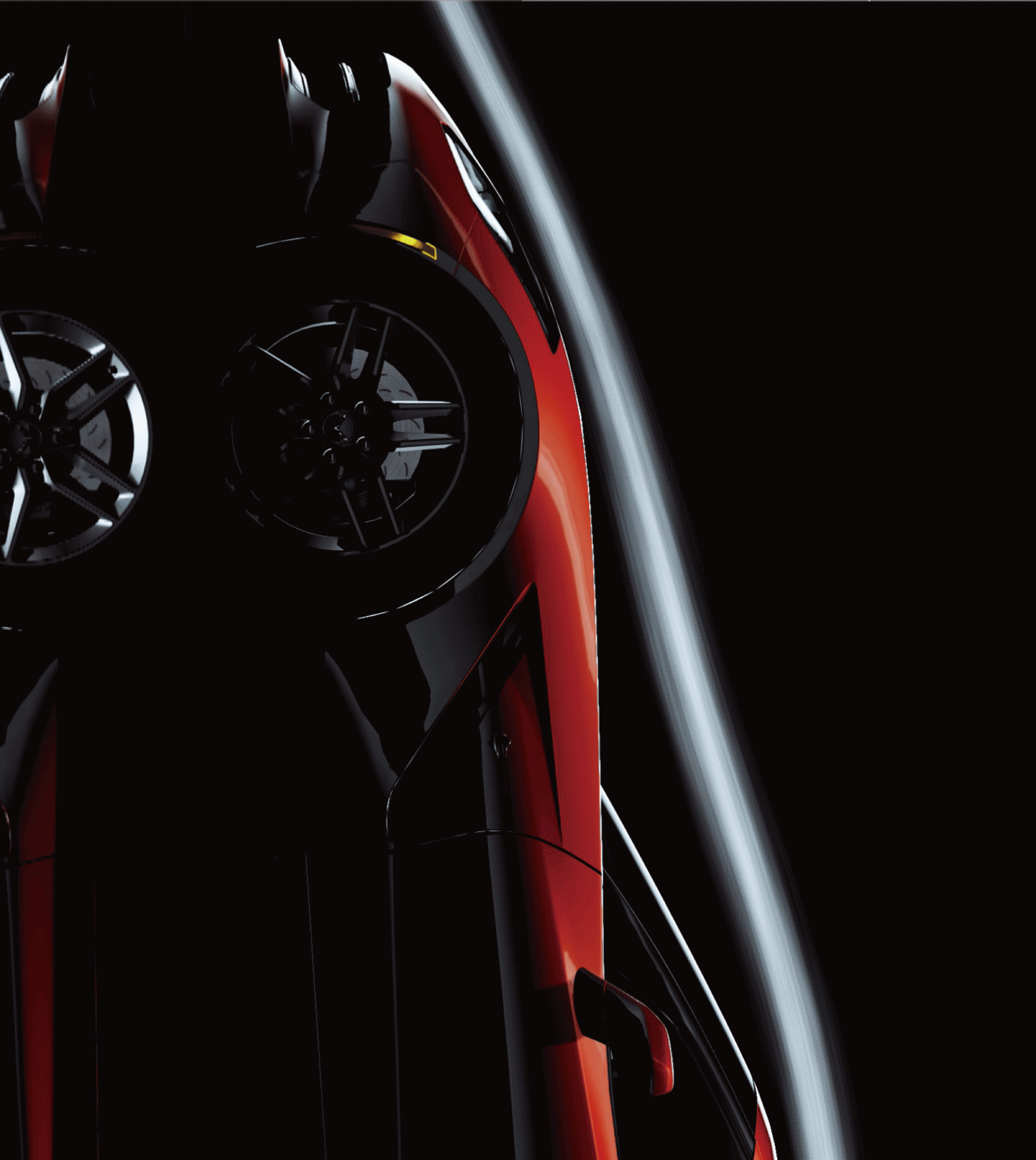
The Gran Turismo Magazine
Beyond the Apex



Engineering for Automotive

1

The Gran Turismo Magazine
Beyond the Apex



for Automotive

自動車のための序

自動車のテクノロジーに関する書籍・雑誌は数多く、一般からプロフェッショナル向けまでさまざまなものが出回っている。しかし、自動車について深く知りたいと考えたクルマユーザーがいきなり専門書を手にとっても、難解な理論や数式に読み進める意志を奪われてしまうケースが多い。自動車のテクノロジーは広範な工学的基礎知識の上に成り立っており、専門書はその基礎知識の理解を前提としているからだ。

ならば、その工学的基礎知識を解説したテキストがあれば、多くのクルマユーザーとプロフェッショナルを繋ぐ橋渡しができるのではないか。そんな着想をもとにこの章が生まれた。一見、どこで自動車と結びつくのかと思える項目も含んでいるが、不安にならないでほしい。その先には、今まで知らなかったスリリングな自動車の姿が見えてくるはずだ。それまで複雑に思えた現象が、実はシンプルな原理に還元できる。そんな興奮を味わっていただければ、この章は役に立ったことになる。

PART 1では基本的な機械力学について解説する。ここでは、力、モーメント、エネルギーの概念を紹介して、振動理論へと入っていく。力、モーメント、エネルギーはすべての工学の基礎であり、振動理論は特にPART 2で解説する車両運動力学、及びサスペンションのチューニングの基礎となるものである。

PART 2では車両運動力学やサスペンションのチューニングについて解説する。ここでは、プロフェッショナルがどのように車両やサスペンションの運動をとらえているのかをお伝えする。このPARTでまとめたことは、車両の操舵試験や7ポストリグによるサスペンションの解析を行う上での基礎知識にもなるので、興味のある方はぜひ身に付けてほしい。

文

工学

PART 3では自動車のエンジンの基礎となる熱力学や統計力学を簡単に紹介する。ここでは、理論効率を達成するエンジンとはどのようなものか。なぜ実際のエンジンはエネルギー損失を起こしてしまい理論効率を達成できないのか。さらには、エネルギー損失となる物理現象に共通して現れる自然の姿を解説していくことにする。

PART 4からは空気力学について解説していく。圧力と速度の関係を示したベルヌーイの定理はレーシングカーのダウンフォースや飛行機の揚力の説明によく用いられるため、流体力学を学んだことのない人達にもなじみのある理論かもしれない。しかしベルヌーイの定理は空気力学の入口に過ぎない。ここでは、そのあとに続く理論空気力学のメインストリートを歩いてみよう。

PART 5では数値流体力学、いわゆるCFDについて解説していく。CFDは自動車開発において欠かせないツールだ。特にレーシングカーの開発においてはもっとも重要なツールのひとつであるため、一般のレーシングファンの間でもCFDという言葉はしばしば耳にするものとなってきた。しかしCFDとはどんなものか、どのような理論の上に成り立っているのかを知る人はまだまだ少ない。そこでここでは、CFDの概念に少しだけ触れてもらうことにする。

もちろん、これだけのわずかなページに、自動車工学の基礎知識をすべて盛り込むことはできない。しかしこの章が、自動車の新しい魅力へと誘う糸口にはなれるかもしれない。とてもすべては読みきれないと思ったら、自分の興味のある部分だけを、まず拾い読みしてほしい。この章を通じて意外な発見が得られたとしたら、もうあなたはクルマをめぐる奥深いエンジニアリングの世界の入り口に立っているのかもしれない。

Engineering

1-1 力とモーメントの概念

▶ 両者の定義と違いをおぼえよう

走行しているクルマにはさまざまな力やモーメントが働いている。このクルマに働く力やモーメントについて理解することは、クルマを理解する第一歩である。そこで、最初に力とモーメントの概念を説明していくことにする。

力の定義

タイヤ、サスペンション、エンジン……自動車が走行するとき、これらの要素にはさまざまな力が生じている。それらの力はすべて異なる現象から発生するものであり、直感的にはそれぞれ種類の異なる力が発生しているように思えるかもしれない。しかし、物理学において、これらの力はすべてF＝ma（力＝質量×加速度）という運動方程式と呼ばれるシンプルな数式で表現でき、本質的な違いは一切ない。

運動方程式:F＝maは、「力とは質量を加速または減速させる作用」であるということを意味している。つまり力とは、物体の速さや運動の向きを変化させる作用である。逆に、もしも物体が加速なり減速をしていれば、そこには必ず力が働いていることになる。

たとえば、タイヤと路面の間に生じる摩擦力は、クルマという質量をもつ物体の運動の向きや速さを変えるし、ダンパーの減衰力は車体やタイヤの振動の速度を小さくする効果がある。

図1-1-1 クルマに働くさまざまな力の形式は異なるが、物理的に本質的な違いはない

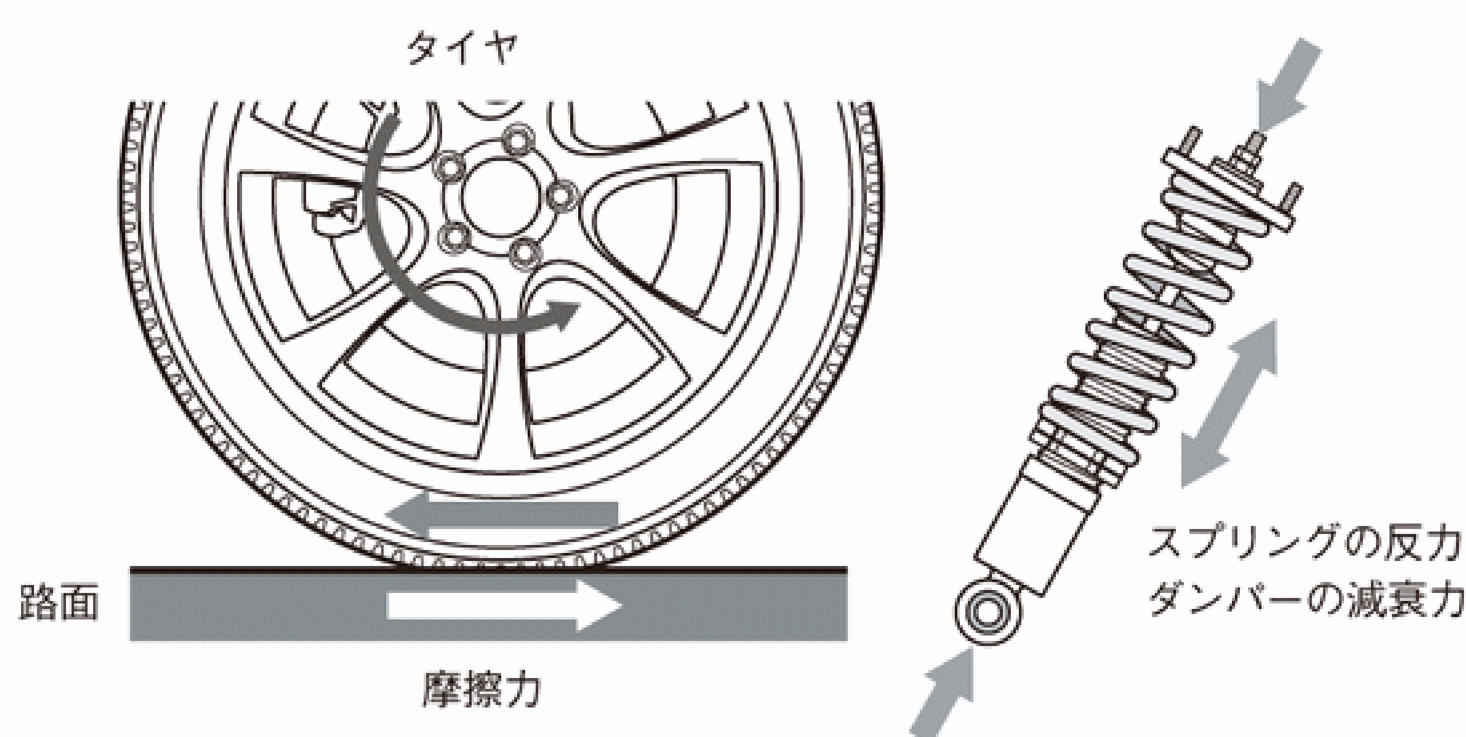
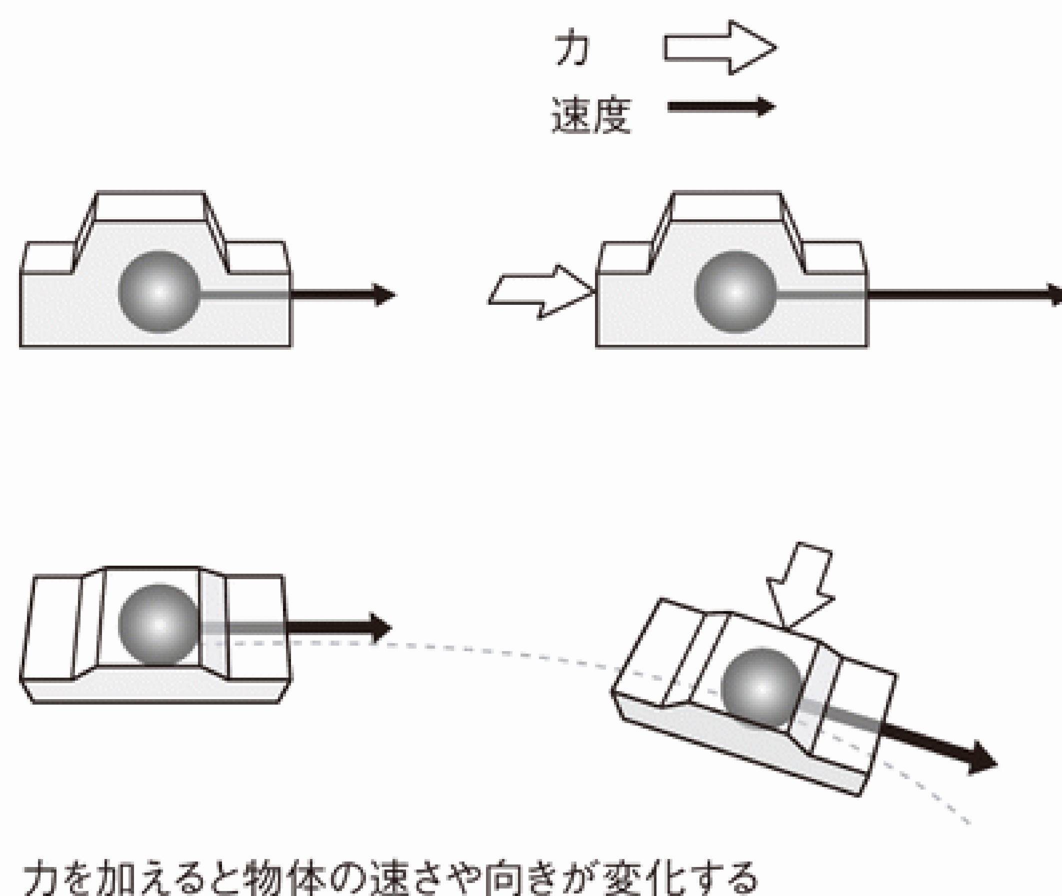


図1-1-2 力とは運動の速さや向きを変化させる作用である



クルマに生まれる力はすべてこの式で表せる。

F=ma（力=質量×加速度）

力とは質量を加速または減速させる作用のこと。

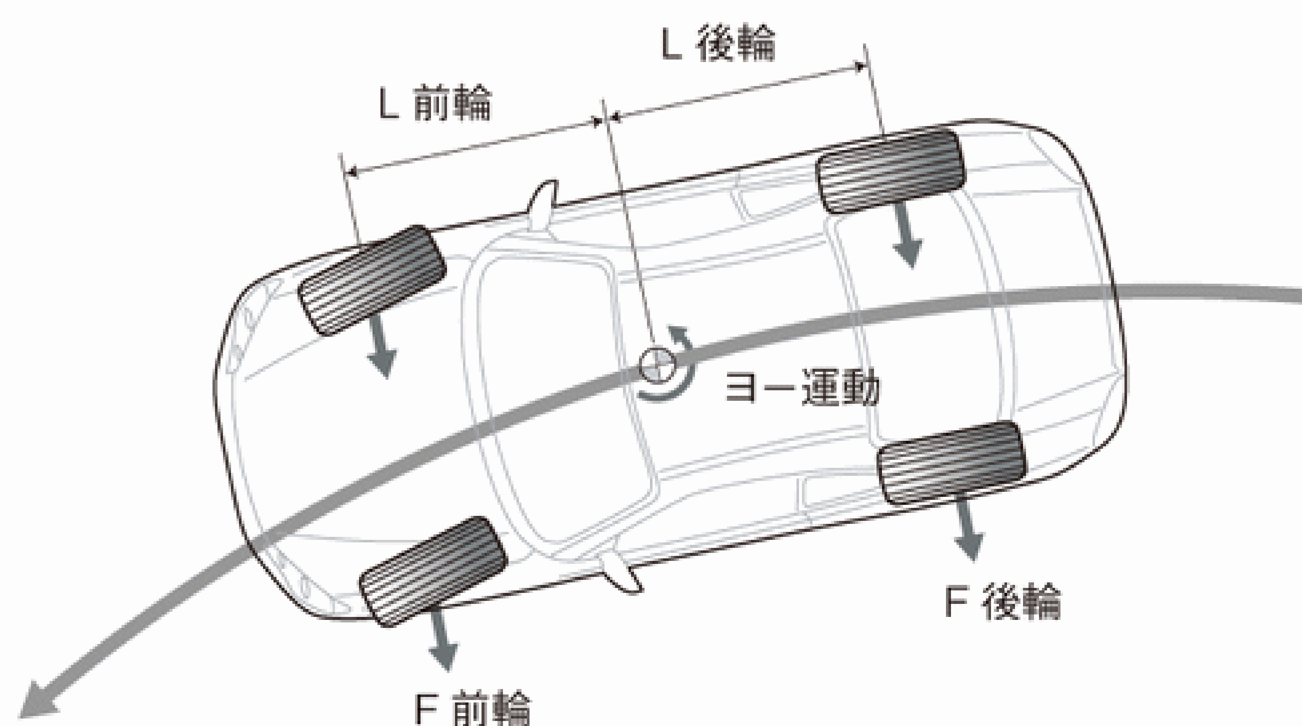
モーメントの定義

走行中にステアリングを切ると、タイヤが進行方向に対して垂直な方向に力を生むため、車体の向きが変わる。タイヤの生み出す力によって車体のヨー運動が発生したことになる。このように、大きさのある物体に回転運動を生じさせる作用をモーメントと呼ぶ。モーメントは回転軸からの距離に応じて力に重みをつけた量であり、数学的に表現すると、M＝L×F(モーメント＝回転軸からの距離×力)になる。

実際に自動車の旋回中に働くモーメントを考えてみよう。ここでは車両の重心位置を回転軸に設定すると、前輪が生み出すモーメントの大きさは、「重心から前輪までの距離×前輪が生み出す横方向の力」、となる。旋回中にはもちろん後輪も、「重心から後輪までの距離×後輪が生み出す横方向の力」の大きさのモーメントを発揮して、前輪によるモーメントとは逆方向に車両を回転させようとする。

このことを、実際のコーナリングで考えてみよう。ステアリングを切り始めると、前輪によるモーメントの方が大きくなり、旋回が始まる。コーナーのクリッピングポイント付近では前後輪によるモーメントは等しくなる。さらにそこを過ぎて、ステアリングを戻し始めると、後輪のモーメントのほうが大きくなり、旋回が終わることになる。

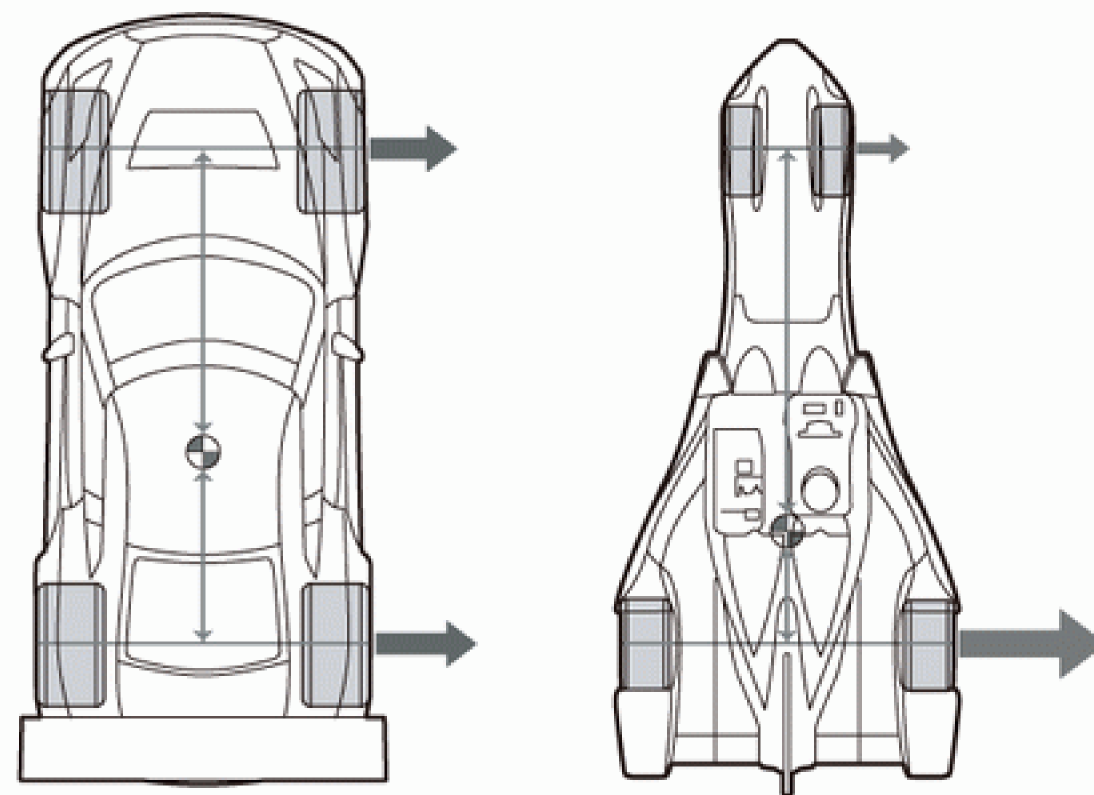
図1-1-3 前後輪によるモーメントと車両の回転運動の関係。前輪のモーメントが後輪のモーメントより大きければ、クルマはコーナリングを開始することができる



L 前輪×F 前輪＞L 後輪×F 後輪→車両のヨー角は大きくなる（ターンイン）
L 前輪×F 前輪＜L 後輪×F 後輪→車両のヨー角は小さくなる（ターンアウト）

大きさのある物体に回転運動を生じさせる作用をモーメントと呼ぶ
M＝L×F（モーメント＝回転軸からの距離×力）

図1-1-4



TIPS 図1-1-4は日産のGT-R NISMO GT3（左）とデルタウイング（右）の前後輪に発生する力を表した図である。ここでは車両の回転軸は重心に設定することにする。すると、回転軸（重心）から前後輪への距離が異なるため、前後輪により生み出されるモーメントのバランスを取るには、前後輪が発生すべき力の大きさが異なることが分かる。このため重心が極端に後ろ寄りのデルタウイングでは、前後のタイヤに求められるグリップ力がまるで異なる。実際デルタウイングのフロントには、幅が10cmしかないスペシャルタイヤが使われている。比べてGT-R NISMO GT3では重心が車体中心付近に存在するため、前後タイヤにもほぼ同等の力の発生が求められる。

1-2 エネルギーの概念

▶ エネルギー保存則を理解しよう

エネルギー保存則

自動車に起こる物理現象を細かく分類すると、力学的現象、熱的現象、電気的現象、磁気的現象、化学的現象...、と細分化できる。たとえば、ガソリンエンジンのシリンダーの中では、ガソリンが着火し爆発すると、シリンダー内の温度は上昇し、ピストンは押し下げられる。このとき、シリンダー内には化学的現象と熱的現象と力学的現象が起こっていることになる。これらはすべて異なる種類の物理現象であるが、これらの現象の間には力とは異なるある共通する効果がある。それがエネルギーである。エネルギーは異なる物理現象の間でも、お互いに変換が可能であり、その総量は変換前と後で変化はなく一定である。これをエネルギー保存則という。

図1-2-1 エネルギーの概念

自動車の中で起こる物理現象

- 力学的現象
- 熱的現象
- 電気的現象
- 磁気的現象
- 化学的現象

→ エネルギーという共通する物理的効果がある

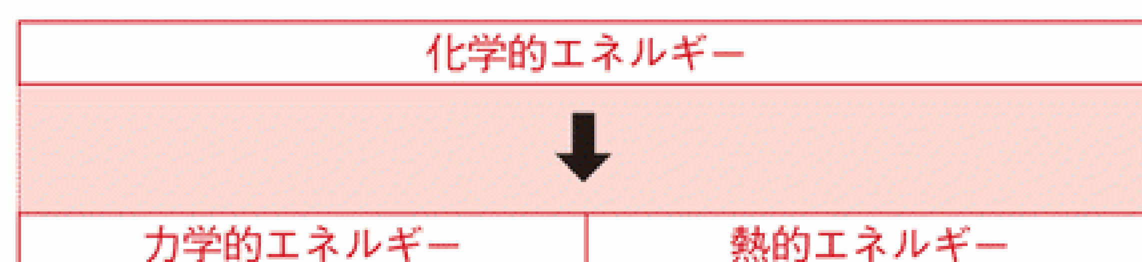
ブレーキングは、力学的エネルギーを熱的エネルギーに換える行為だ



エンジンシリンダー内の保存則

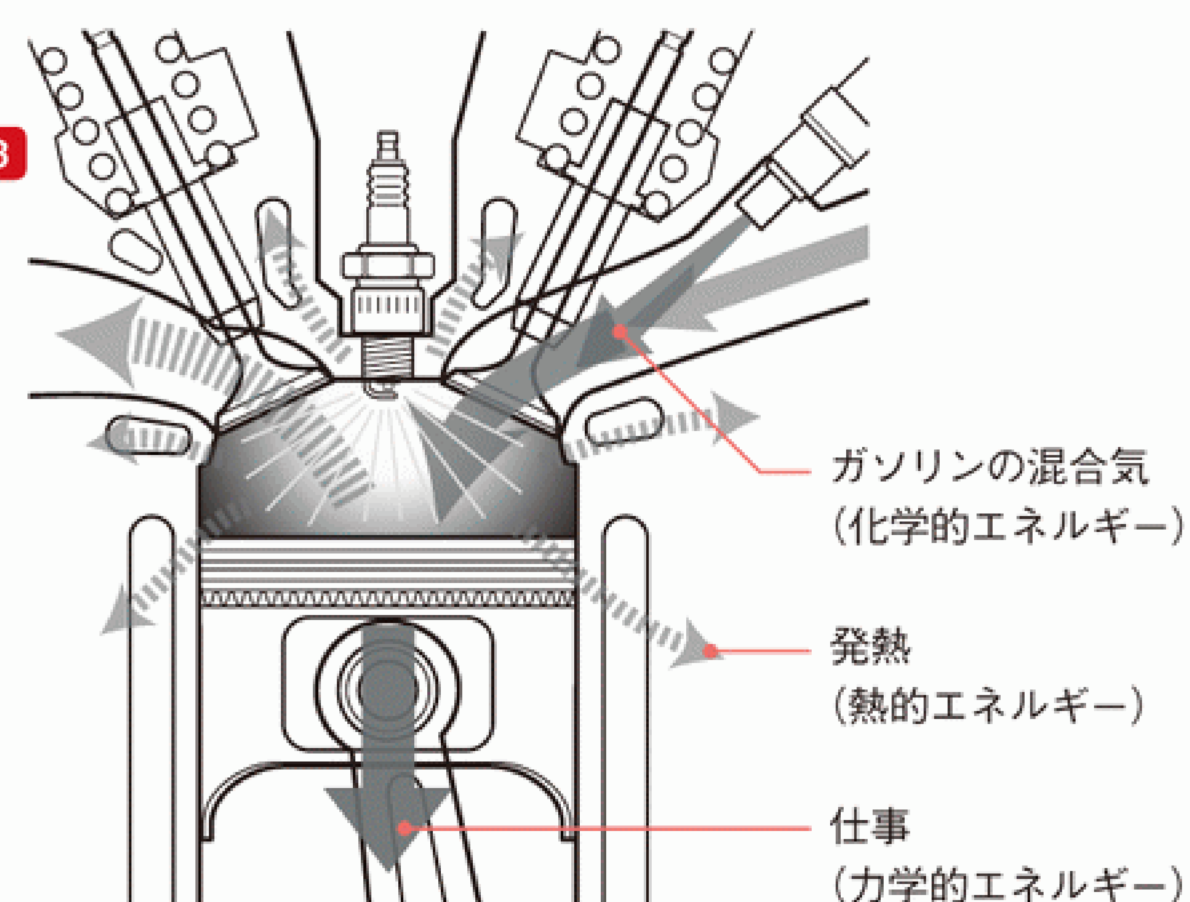
ガソリンエンジンのシリンダー内で起こる物理現象をエネルギーの側面から考察すると、ガソリンの化学的エネルギーが熱エネルギーと力学的エネルギーに変換されている、と言える。つまり、ガソリンエンジンは化学的エネルギーから人間にとって都合の良い形で力学的エネルギーを取り出す装置である。そしてこのとき、変換された化学的エネルギーの量は、新たに生み出された熱エネルギーの量と力学的エネルギーの量の和に等しいことがエネルギー保存則により保障されている。また、エンジンが化学的エネルギーを人間の役に立つ力学的エネルギーに変換する割合をそのエンジンの効率という。

図1-2-2 エンジンのシリンダー内のエネルギー保存則



エネルギーの変換を行ってもその総量は変わらない。
この法則をエネルギー保存則という

図1-2-3





1-3 振動のメカニズム

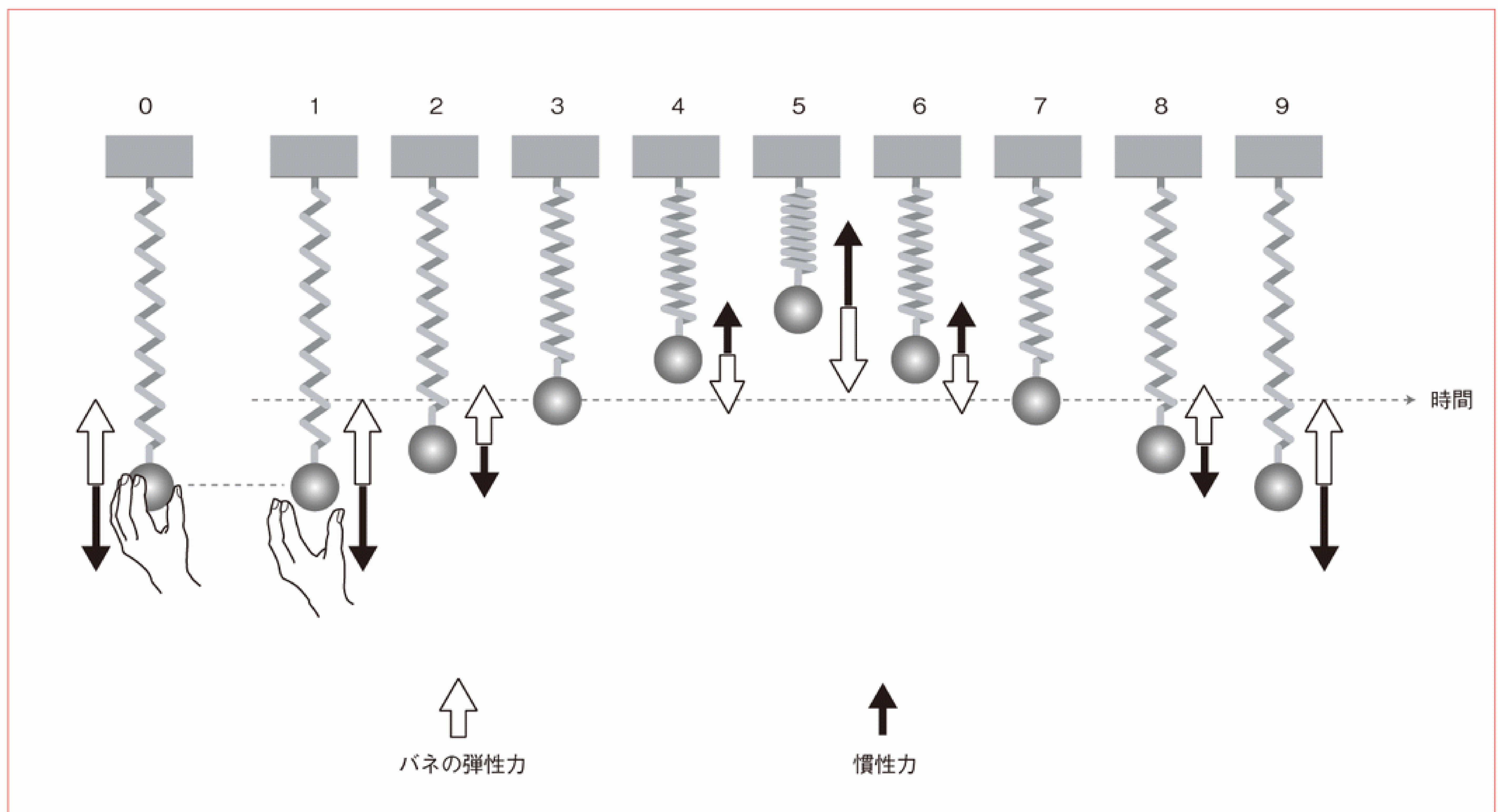
▶ 振動現象のもとは物体の質量と弾性である

自動車のエンジンやサスペンションや車体等には振動が生じる。Part 2で詳しく説明するが、車両の運動自体も振動現象として説明できる。それではいったい振動とはなんだろうか。振動のメカニズムとはどのようなものだろうか。自動車の運動を深く議論していく前に、まずこれらを明らかにしておこう。

力の側面から見た振動

話を簡単にするために、おもりとバネから成る振動系(このおもりとバネのように、ひとつの振動を起こす対象をまとめて振動系と呼ぶ) を使って考えてみよう(図1-3-1)。手でおもりを引っ張ってバネを伸ばすと、引っ張る力に対抗する弾性力が働く(0)。ここでおもりから手を放すと、バネは自身の弾性力によりおもりを引き戻しながら、元の長さに戻ろうとする(1〜2)。しかしバネが元の長さに戻り、弾性力が0になったとしても、おもりは慣性によりそのまま動き続けようとするためにバネを縮めてしまう(3)。すると、縮められたバネは再び弾性力を発揮し、縮められることに抵抗し元の長さに戻ろうとする(4)。その結果、おもりを減速させるため、やがておもりは動きを止める(5)。しかし、縮められたバネは弾性力を発揮して元の長さに戻ろうとする(6)。そして、再び元の長さに戻るが、おもりは慣性のため動き続けようとする(7)。その結果、バネを引き延ばしてしまうため、1〜9の過程を再び繰り返すことになる。これが力の側面から見た振動である。つまり振動現象とは、物体の慣性と弾性力がもととなって発生するのである。

図1-3-1 力の側面から振動を見ると、ばねの弾性力とおもりの慣性力は常に釣り合っている
各過程のバネにある上下方向の矢印の長さが等しいことに注目しよう



エネルギーの側面から見た振動

振動は前項で習ったエネルギー保存則からも考察することができる。エネルギーの面から振動を見ると、振動とは、伸び縮みによるおもりの運動エネルギーとバネの弾性エネルギーのやり取りだということができる。

バネの弾性エネルギーはバネの変位が最大(伸びきったあるいは縮みきった状態)となる①、⑤、⑨のときに最大となり、おもりの運動エネルギーは速度が最大となる③、⑦のときに最大となる。

図1-3-2 エネルギーの側面から見ると、振動とはバネの弾性エネルギーとおもりの運動エネルギーのやり取りである

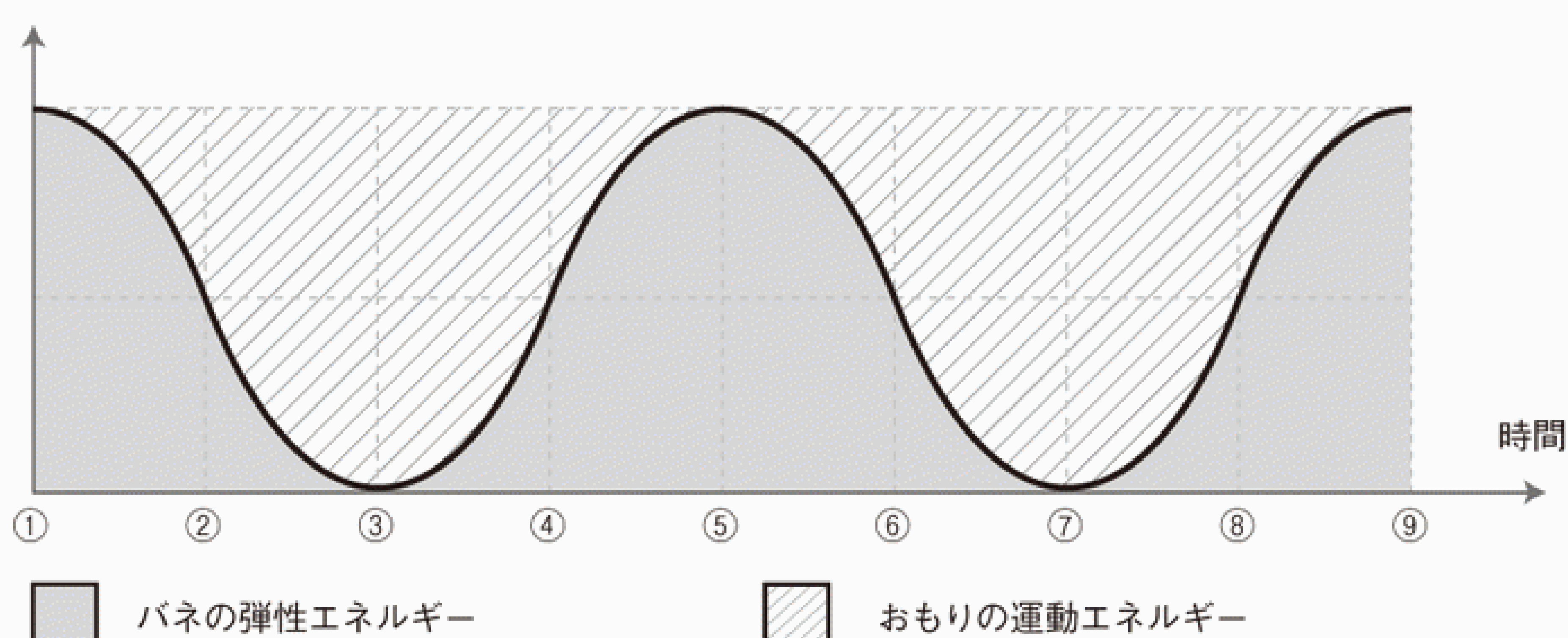
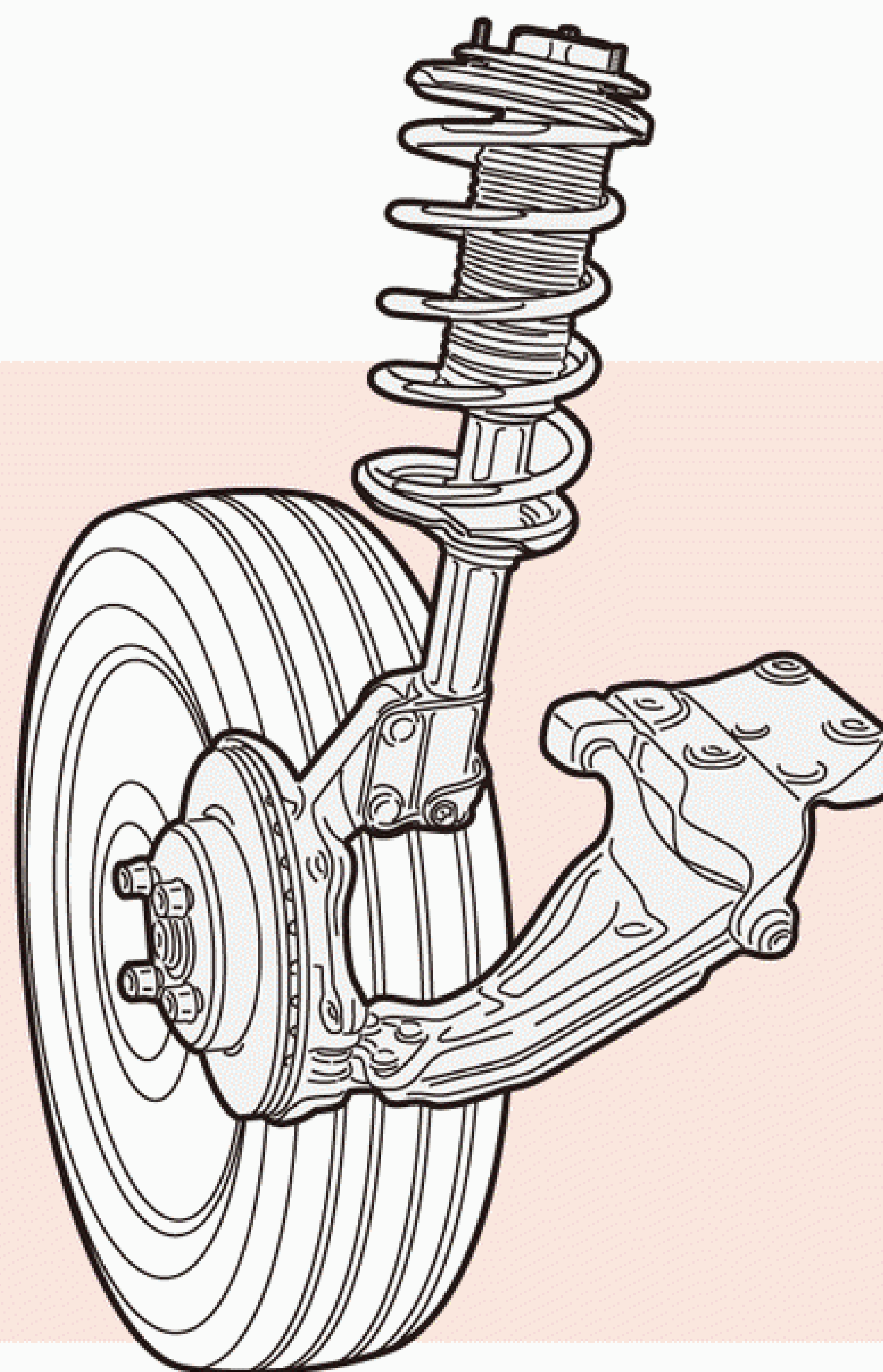


図1-3-3 車体に関係する振動でもっとも分かりやすいのは、サスペンションに伝わる路面からの入力だ





1-4 共振現象

▶ 共振とは外部からの加振に対して無抵抗になる状態をいう

サスペンションやエンジンの振動を考える上で特に注意する点が、共振という現象だ。共振現象はできる限り避けなければならないし、やむをえず起こったとしても、その影響をできるだけ小さくしなければならない。そのためにはまず共振とは何かを理解しておこう。

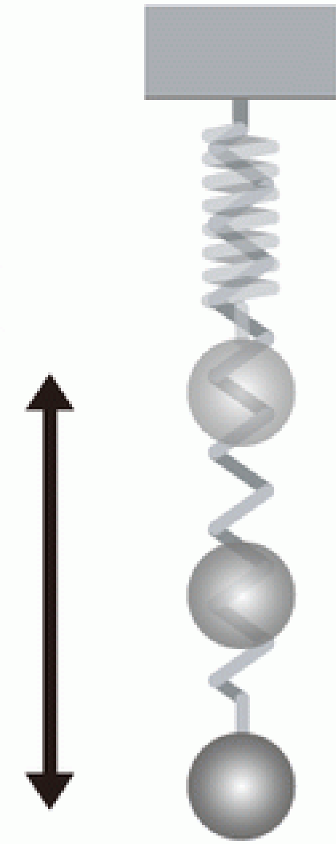


図1-4-1 自由に振動させると、固有振動数で振動し、それ以外の振動数では振動しない

自由振動と固有振動数

ここでも1組のおもりとバネから成る振動系を考えよう。この振動系を一度引っ張った後、放置して自由に振動させてみる。これを自由振動という。やがておもりとバネはある一定の振動数で振動するようになる。最初にどんな引っ張り方をしても、最終的には一定の振動数で振動する。この振動数はバネの弾性とおもりの質量のみから決まる振動系固有の振動数なので、固有振動数と呼ぶ。固有振動数は振動系自らが自発的に振動を行う振動数であり、この振動数で振動しているとき、バネの弾性力とおもりの慣性力は常に釣り合っており、エネルギーのやり取りも自然と繰り返される。

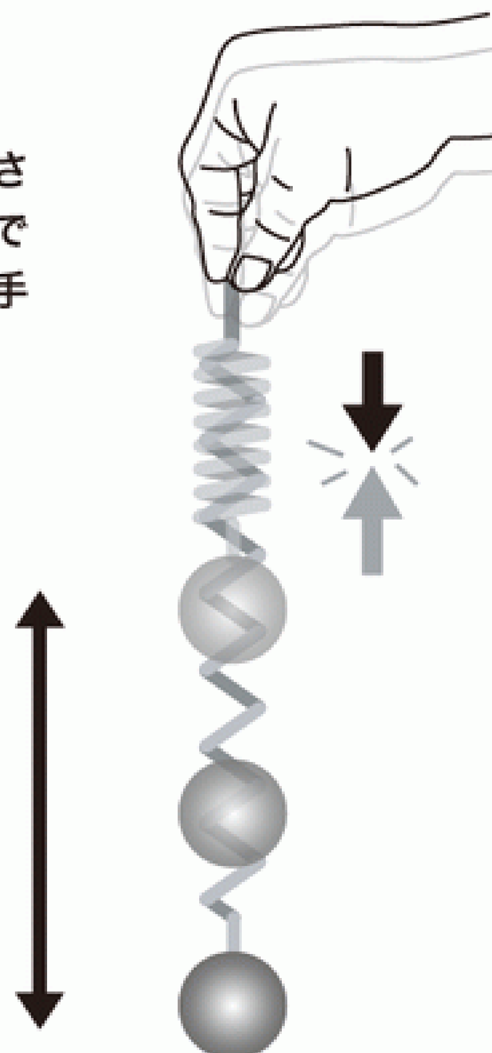


図1-4-2 固有振動数以外の振動数でバネを伸び縮みさせようとしても、振動系は自身の固有振動数で伸び縮みしようとする。その振動系の動きが手に抵抗として伝わる

強制振動と共振

上記で使ったバネとおもりを、手で強制的に伸び縮みさせてみよう。これを強制振動と呼ぶ。固有振動数と違う振動数で伸び縮みさせると、手に抵抗を感じるはずだ。その振動系が振動するのに、固有振動数が自然な振動数だと考えると、それ以外の振動数は振動系にとって不自然な振動数ということになる。外部から加える振動がどのようであろうと、振動系はあくまでも自らにとって自然な振動数で振動しようとするので、抵抗を感じるのである。

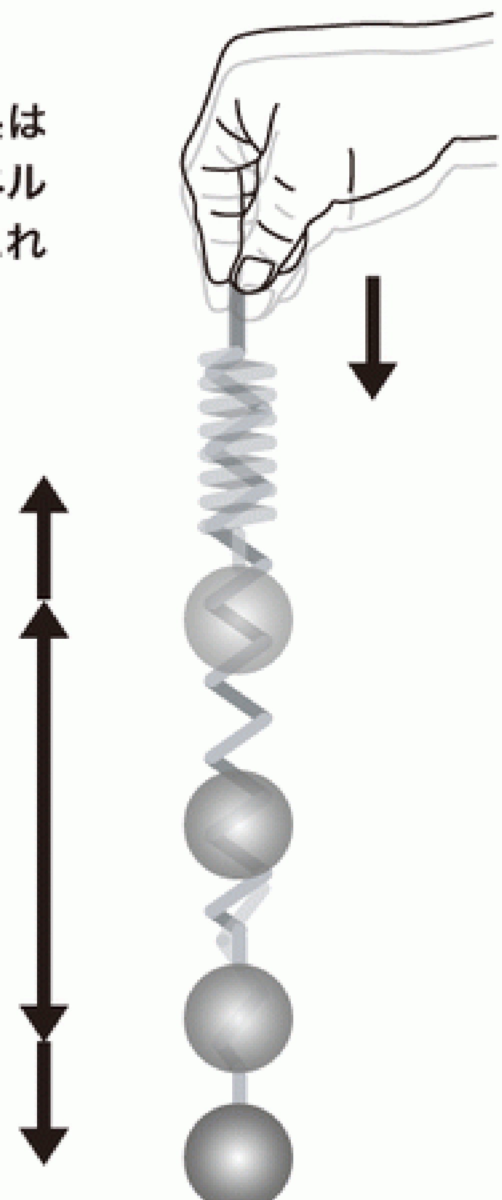


図1-4-3 固有振動数で振動を加えると、その振動系は手の動きに逆らわない。むしろ手の運動エネルギーを吸収して、振幅を増大させていく。これが共振である

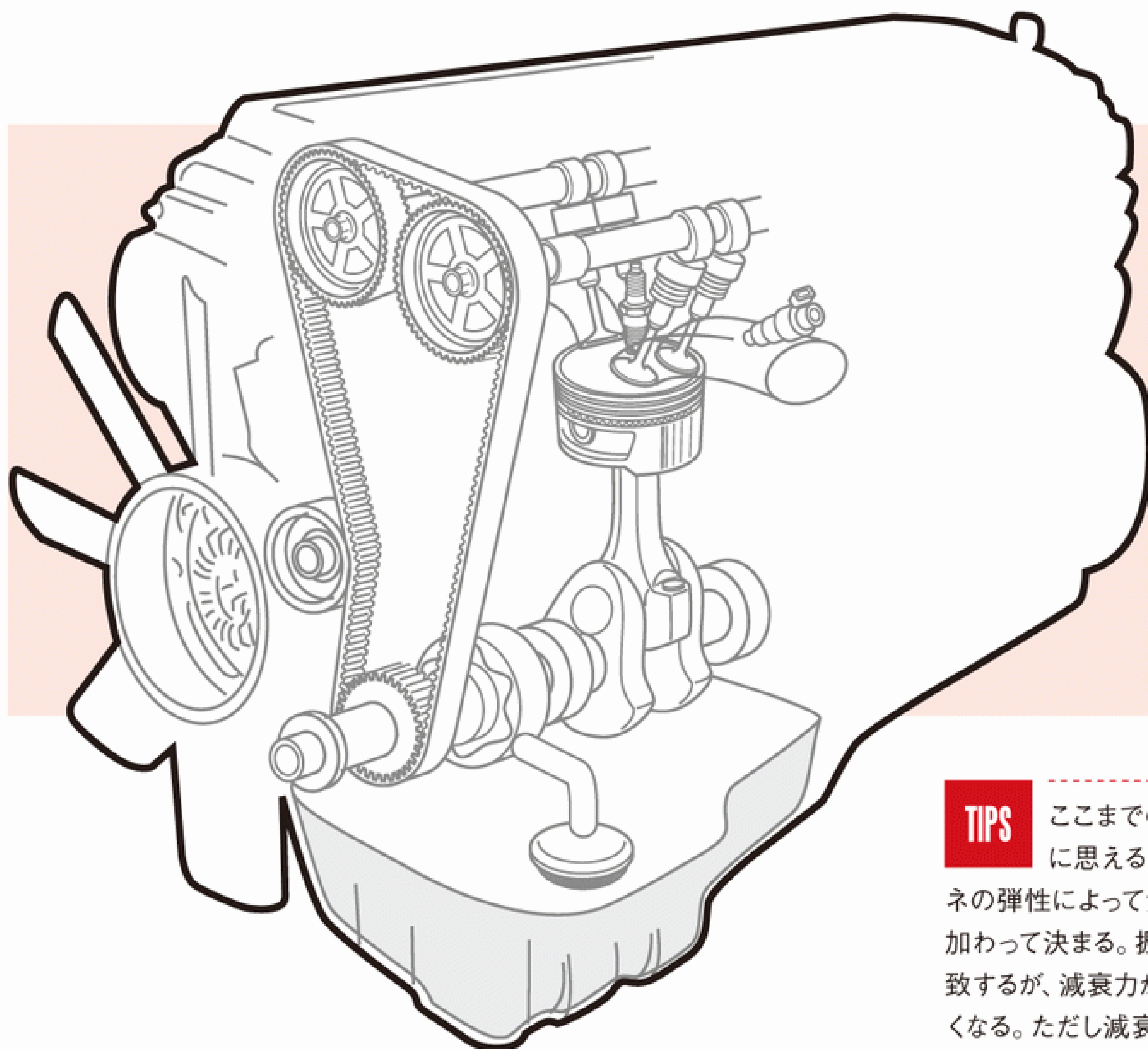
強制振動と共振

今度は、この振動系の固有振動数で伸び縮みさせたらどうなるだろうか。このときの振動はその振動系にとって自然な振動数だから抵抗は感じない。むしろ振動の振幅は加えた振動に合わせて大きくなっていくはずである。これは振動系が外部からの加振に対して抵抗せず、むしろそのエネルギーをすべて吸収してしまうためである。もしそのまま固有振動数で振動を加え続ければ、その振幅はどこまでも大きくなっていく。

このように振動系自身が自発的に振動を行う振動数で、外部から強制的に振動させられた場合、その振動の振幅が増大し続ける現象を「共振」と呼び、このときの周波数を「共振周波数」と呼ぶ。

たとえば、サスペンションにおいて、共振は接地性や乗り心地の悪化を招く。また、エンジンが共振を起こすと、エンジンそのものが壊れてしまう。したがって、共振は避けなければならない。共振による破損を防ぐ方法の一つが、ダンパーの装着である。ダンパーはおもりとばねから振動のエネルギーを吸収し、それを熱エネルギーに変換して外部に散逸させる。たとえ共振が起こったとしても、減衰力が十分に作用していれば機械が壊れるのを防ぐことができる。

図1-4-4 エンジンも連続する燃焼が振動を起こすひとつの振動系だ。エンジンが共振するとヘッド回りやブロックの破損といった深刻なダメージを生む



TIPS ここまでの説明では、固有振動数と共振周波数は同一のもののように思えるかもしれないが、実はそうではない。固有振動数は質量とバネの弾性によって決まるが、共振周波数は固有振動数に減衰力という要素が加わって決まる。振動系に減衰力がなければ、固有振動数と共振周波数は一致するが、減衰力が存在すると共振周波数は低くなり固有振動数とは一致しなくなる。ただし減衰力をともなわない共振周波数(固有振動数)を不減衰固有振動数、減衰のともなう共振周波数を減衰固有振動数と呼ぶ場合もある。

1-5 減衰力の作用

▶ 減衰力によって振動の様子は変化する

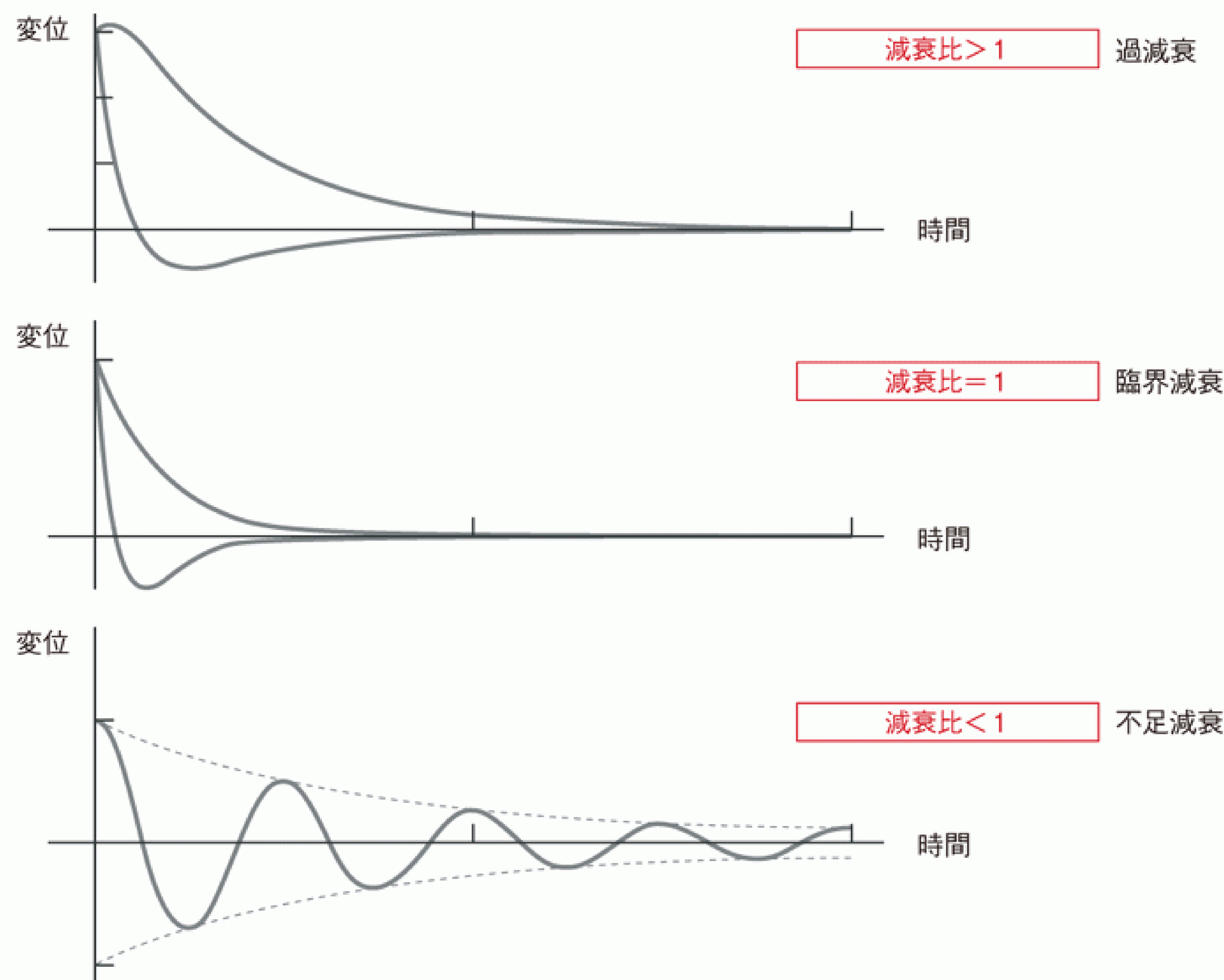
ここまでは、おもりとバネから成る振動系を例に振動を考察してきた。そして、もしおもりとバネから成る振動系が、その固有振動数(共振周波数)で強制的に振動させられると、共振が問題となることを見てきた。共振現象による問題を回避する手法はいくつか考えられるが、もっとも一般的なのは振動系にダンパーを挿入することである。ダンパーとは運動エネルギーを熱エネルギーに変換し散逸させる装置である。ただし、ダンパーの減衰力によって、振動の様子が大きく変化することになる。そこで、ここでは減衰力の違いが振動現象に及ぼす影響を詳しく見ていくことにする。

減衰比の異なる自由振動

振動は質量とバネの弾性力から生じることはこれまでに説明してきたが、振動系にダンパーを挿入した場合、この振動は減衰され、やがてその動きは止まる。このとき、ダンパーの減衰力の大きさによって振動が減衰する様子は異なってくる。ここで、ダンパーの減衰力の大きさが質量とばねの弾性力の効果に対して、どの程度の大きさであるかを示す指標となるのが減衰比である。

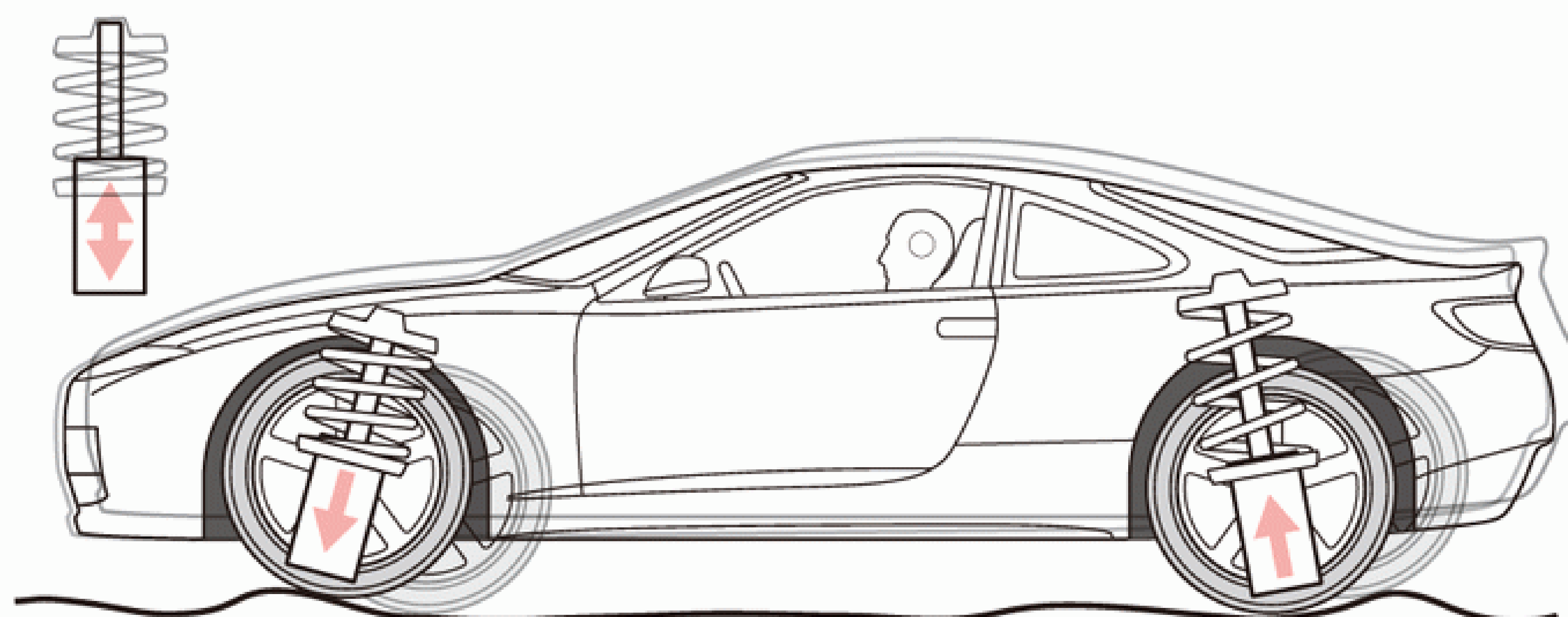
減衰比が1以上の場合、減衰力が質量とバネよりも強い状態であるため、振動系の動きは非振動的に収束する。この状態を過減衰という。過減衰の状態においては、時間とともにそ

図1-5-1 減衰系の振動の例



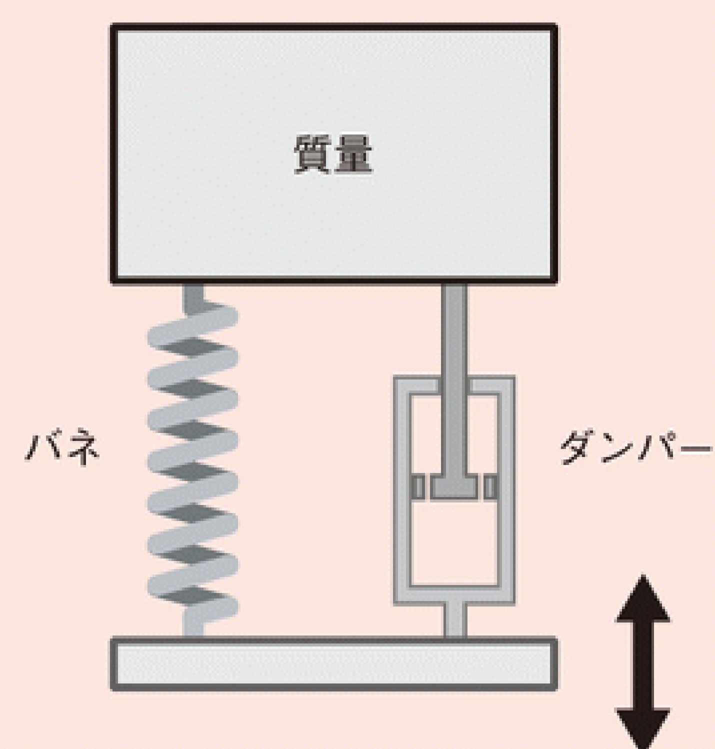
の振幅は減少し0に漸近していく無周期運動となる。減衰比が1未満の場合、減衰力に対して質量とバネの効果が強い状態であるため、時間とともに振幅は振動的に減少し、その振動周期を長くしていく。この状態を不足減衰という。さらに、減衰比1の場合は、振動するかしないかの臨界状態であり、この状態を臨界減衰という。ちなみに、減衰比が0の場合は減衰力の発生はなく、ダンパーが作用しない状態と同じであるため、振動が減衰することはない。

図1-5-2 ダンパーの減衰力により乗り心地や接地性は大きく変化するが、サスペンションのチューニングにおいて、減衰比は一つの重要な指標となる。減衰比は一般の乗用車では 0.1 ～ 0.3、スポーツカーでは約 0.5、レーシングカーでは約 0.7 に設定されていると言われている（ただし、ここにあげた数値はあくまでも典型的な例であり、実際のクルマが必ずしもこの通りにチューニングされているわけではない）



TIPS 振動する機械や構造物から、それを支える基礎や床に振動が伝わらないようにするため、また逆に、基礎や床の振動が機械や構造物に伝わらないようにするために、ゴム、タイヤ、バネ、ダンパーなどで物体を支持することがよく行われる。このような支持部を含んだ振動系を図1-5-3のようにモデル化し、機械と基礎の間でどのように振動が伝達されるかを考えることが一般によく行われる。例えば、PART 2で詳しく見ていくことになるが、サスペンションもモデル化して、バネ、ダンパー、質量の組み合わせとして表現し、その振動特性を解析することができる。

図1-5-3 基礎が振動するモデル



1-6 位相差

▶ 位相差とは振動のリズムの違いである

自動車が路面のうねりを超えるとき、路面のうねりはサスペンションによって「縮小」されて車体に伝わる。このような場合、車体の振幅は路面のうねりよりも穏やかになっている。つまり、車体の振幅がサスペンションにより縮小されて車体に伝達されていることになる。このように、路面のうねりという「入力」に対して、どれだけ車体の振幅という「応答」が抑えられているかということに着目することは最も重要である。しかし、振動論はそれだけでは終わらない。振動を議論するうえでは、「入力に対してどれだけ素早く反応するか」ということも非常に重要となる。

図1-6-1　実際の路面のうねりと、それがサスペンションを通じることで生じる車体の振幅。その関係に着目しよう。車体の振幅がどれだけ抑えられるかということが最も重要だが、路面のうねりに対して、車体がどれだけ素早く応答するかということも大切だ

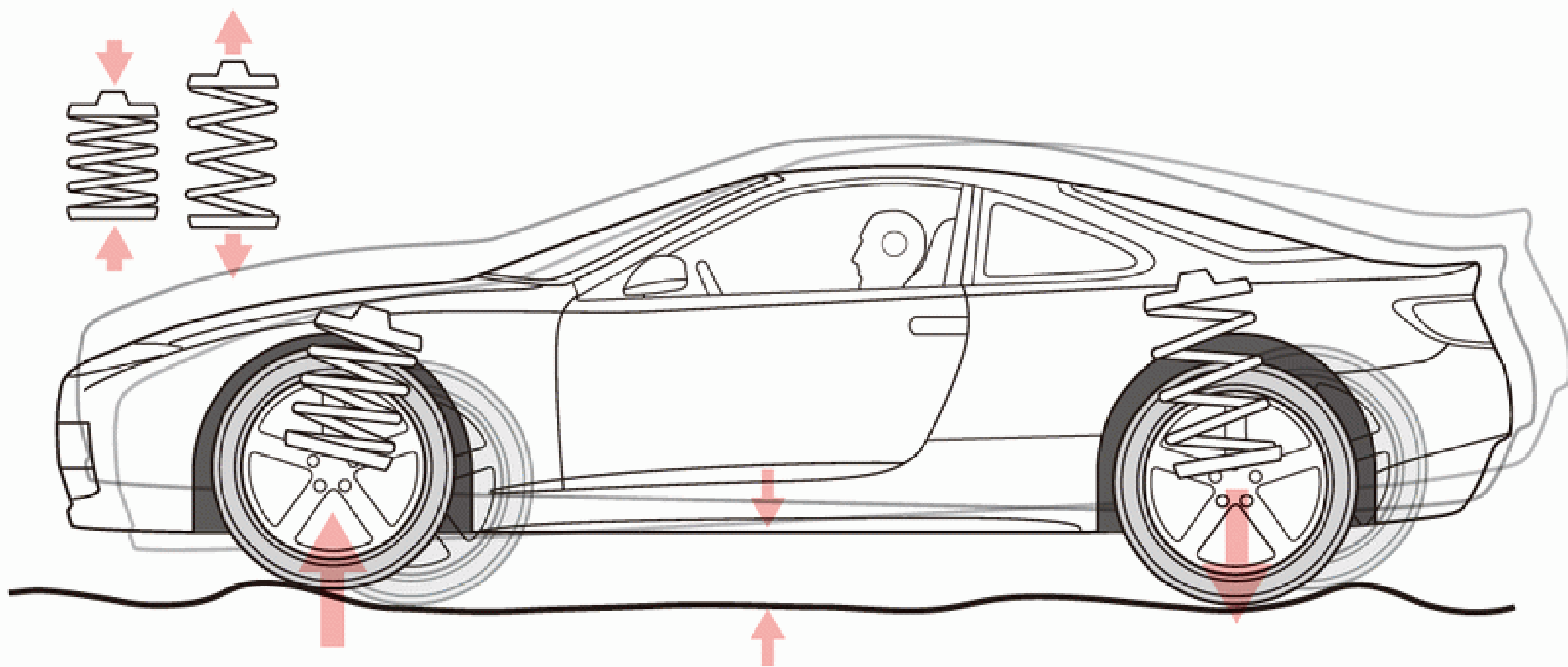
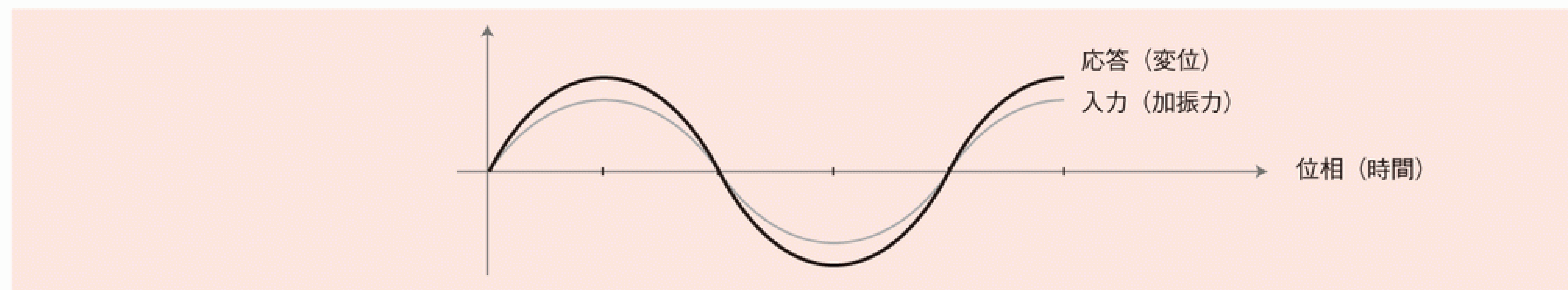


図1-6-2　ドイツのサスペンションメーカーKWの7ポストリグ（床下）

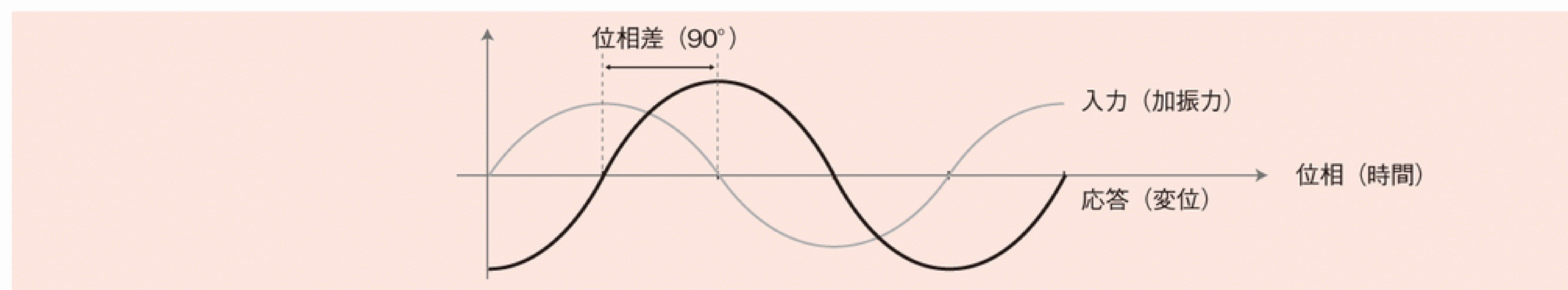


図1-6-3

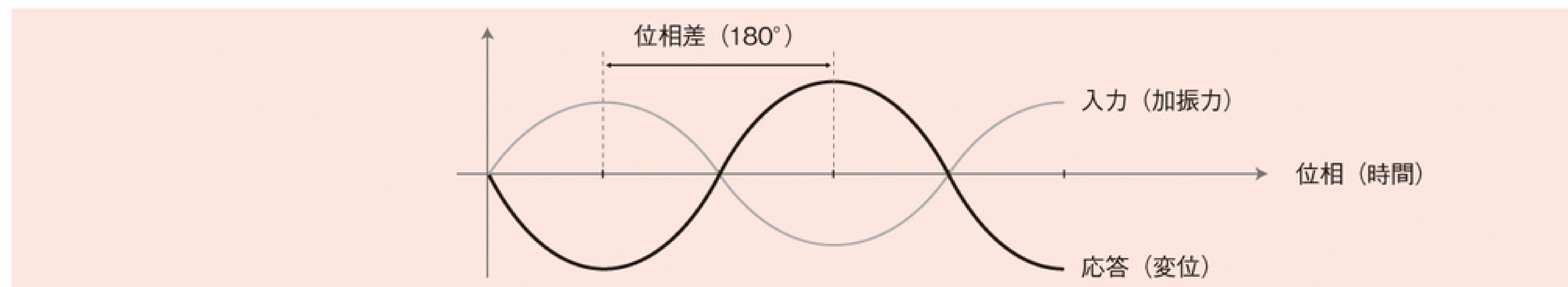
加振の振動数がきわめて低ければ、入力と応答の振幅の位相は一致する



固有振動数で振動させると位相は 90° ずれる



加振の振動数をきわめて大きくすると、位相は 180° ずれる



振動のリズムの差

ある振動系が、入力に対してどれだけ素早く反応するかを評価する際に用いられるのが、「位相差」である。ここでもバネとおもりの振動系を用いて解説しよう。

バネとおもりをその固有振動数(共振周波数) 以外の振動数で強制的に加振したとき、なぜ手は抵抗力を感じるのだろうか。この問いに対して、「固有振動数以外の振動数はその振動系にとって不自然であるため、振動系がそれに抵抗するからである」と説明した。これは「手の振動のリズムと、振動系にとって自然な振動のリズムが違うため」と言い換えることができる。もう少し具体的に言うと、このリズムの違いとは、「振動を加える方向とおもりの慣性力の方向のずれ」なのである。この動きのリズムの差を位相差と呼ぶ。

図1-6-3を見てほしい。非常にゆっくりとした振動数で振動を加えると、手の力の方向とバネの伸縮は同じ方向に同じリズムで振動する。このとき入力と応答にはずれがなく、位相差は0である(図1-6-3上)。

ところが振動数を非常に高くすると、手による加振力とおもりの慣性力は逆方向になるため、位相差は180度になる(図1-6-3下)。ちなみに固有振動数で振動させると、位相差は90度となる(図1-6-3中)。

1-7 周波数応答

▶ サスペンションや車両運動の解析へ

周波数応答とボード線図

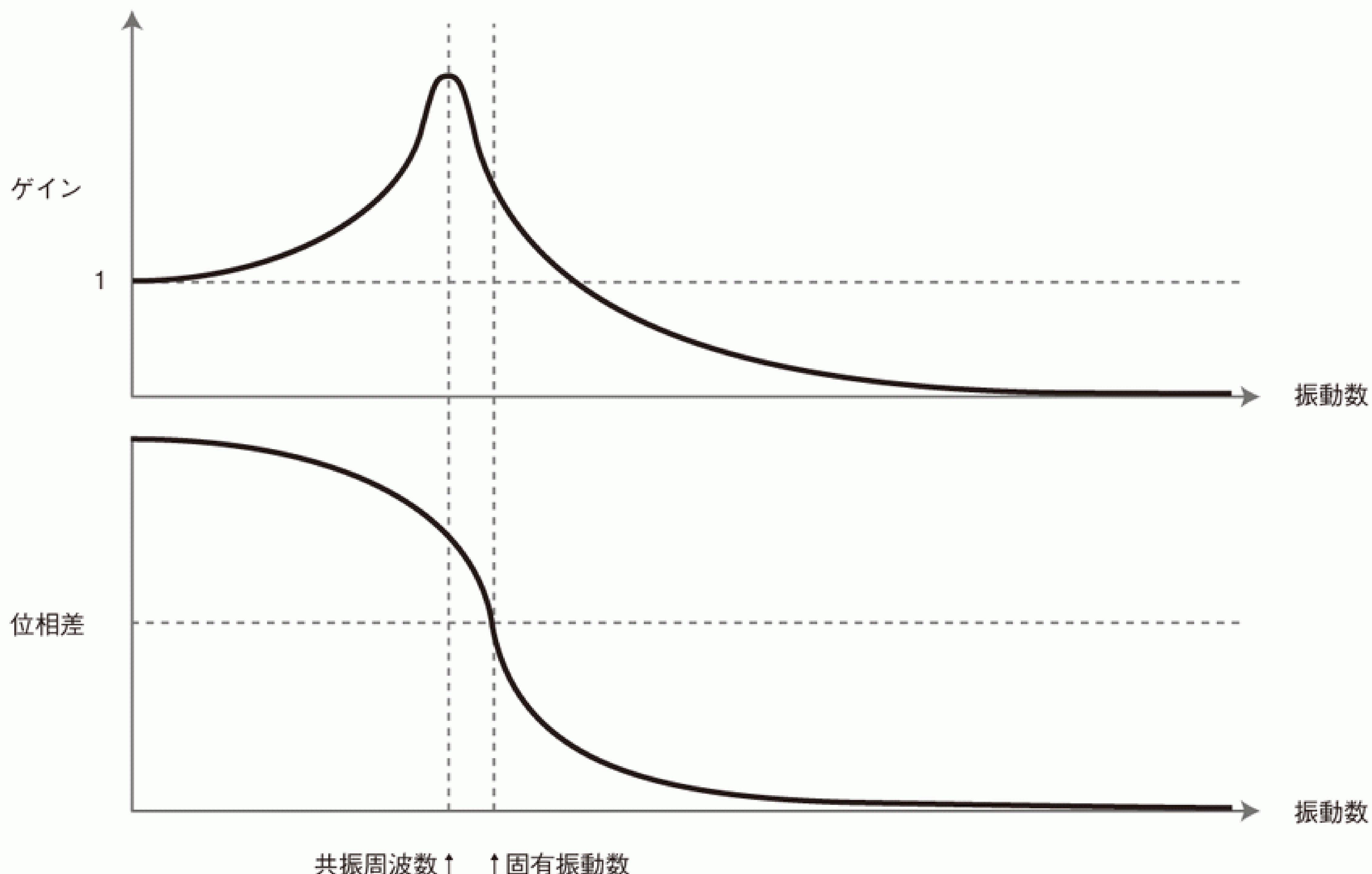
これまでは加振の振動数（周波数）によって、振幅や位相差が変化することを別々に考察してきた。しかし、これらは別々に解析していくのではなく、同時に見ていくことで、注目する振動系の振動特性をより深く知ることができる場合が多い。

そこで、ここでは加振の振動数に対して、振動系の振幅や位相差がどのように変化するのかを同時に見ていくことにする。ここで、加振周波数（加振振動数）に対する振幅や位相差といった振動系の応答を周波数応答と呼ぶ。

自動車の振動解析において、周波数応答はよく解析されるが、それにはボード線図と呼ばれるグラフが頻繁に使用される。図1-7-1はボード線図の例である。上のグラフはゲイン線図と呼ばれるもので、加振（入力）に対するゲインを表す。ここでゲインとは入力の大きさに対する応答の大きさの比である。つまり、ゲインが1より大きければ、入力に対して応答は大きくなっており、1より小さければ、入力に対して応答は小さくなっていることがわかる。

下のグラフは位相線図と呼ばれ、入力に対する応答の位相差を表している。つまり、入力に対して応答がどのくらいずれているのかを表しているのが位相線図である。位相線図において、位相差が大きな負の値をとるほど、入力に対して、応答の遅れが大きくなっている。

図1-7-1　ばね、ダンパー、おもりから成る振動系の周波数応答を示したボード線図



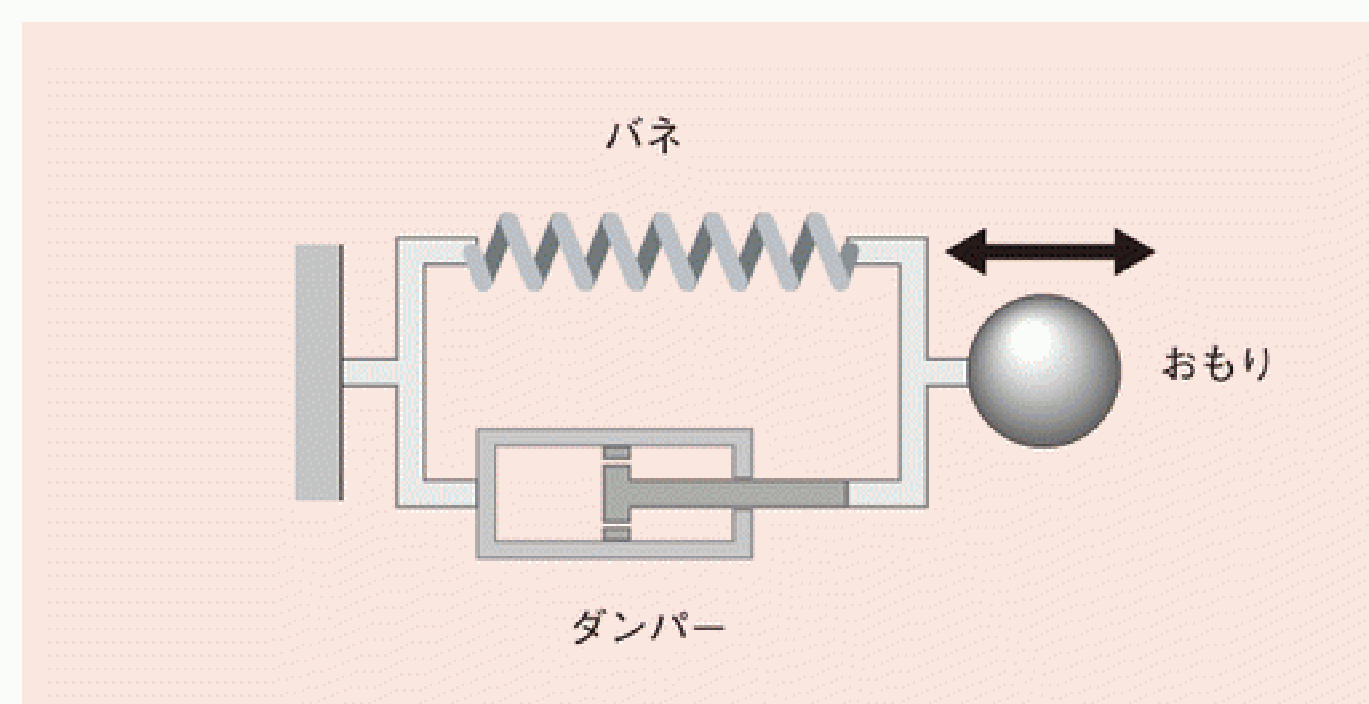
減衰系の振動をボード線図で掴む

バネとおもりとダンパーから成る振動系(図1-7-2) を例にボード線図1-7-1を使って、その振動特性を見てみることにしよう。ただし、今回はダンパーを不足減衰、つまり減衰比が1以下に設定されているとする。

この振動モデルで、静止状態から徐々に加振の振動数(周波数) を上げていくことにしよう。振動数が非常に低いときのゲインは1、つまり加振の振幅と応答の振幅には差がない。しかしそこから周波数を徐々に上げていくとゲインは大きくなり、応答の振幅が入力に対して大きくなっていくことが確認できる。そして、ある振動数になるとゲインはピークをとる。これが共振であり、このときの振動数が共振周波数である。そこからさらに振動数を上げていくとゲインは小さくなり0に近づいていく。つまり、加振の振動数が高くなると、応答の振幅は0に近づいていくのである。

一方、位相差は振動数が極めて低いときには、加振とバネは同じリズムで同じ方向に動くので0であるが、固有振動数で−90°となり、非常に高い振動数では−180°となる。

図1-7-2 バネ、ダンパー、おもりから成る振動系のモデル。バネと並行に組み込まれたダンパーが、共振時に振幅が無限に大きくなってしまうのを防いでいる





1-8 サスペンションに生じる振動

▶ 多自由度系の振動

これまでは話を簡単にするために、バネ、おもり、ダンパー、といった機械要素をそれぞれひとつずつ組み合わせた単純な振動モデルを用いて振動の基本を理解しようと努めてきた。しかし、実際のクルマはこれらの機械要素が複数組み合わされた振動系である。

そこで、実際にサスペンションのチューニングといった振動制御を行う前に、複数個の振動要素をもった振動系の基本的な特徴をまず押さえておこう。

サスペンションの振動特性

自動車のサスペンションにはさまざまな機構があるが、結局は質量とバネとダンパーから成る振動系であり、図1-8-1のようにモデル化できる。車体とホイールの間にあるバネとダンパーはサスペンション、ホイールと路面の間にあるバネとダンパーは、タイヤの弾性と減衰を表している。

この振動モデルをさまざまな周波数で振動させてみよう(図1-8-2)。静止状態に極めて近いゆっくりとした周波数では、地面の変位と車体の変位は同じ大きさとなるため、振幅比は1となる。そこからゆっくりと周波数を上げていくと、それに伴って振幅が大きくなっていく。すると、ある振動数になると振幅はピークを迎え、バネ上の共振が起こる。ここから振動数を上げていくと振幅は小さくなっていくが、あるところで再び振幅は増幅され、バネ下の共振により、再び車体の振幅は増幅される。さらに振動数を上げていくと、振幅は再び小さくなっていき、やがて0に近づいていくことになる。

図1-8-1 車輪が1輪だけの1/4車両振動モデル。タイヤもバネとダンパーの性格を持った立派な振動系である。

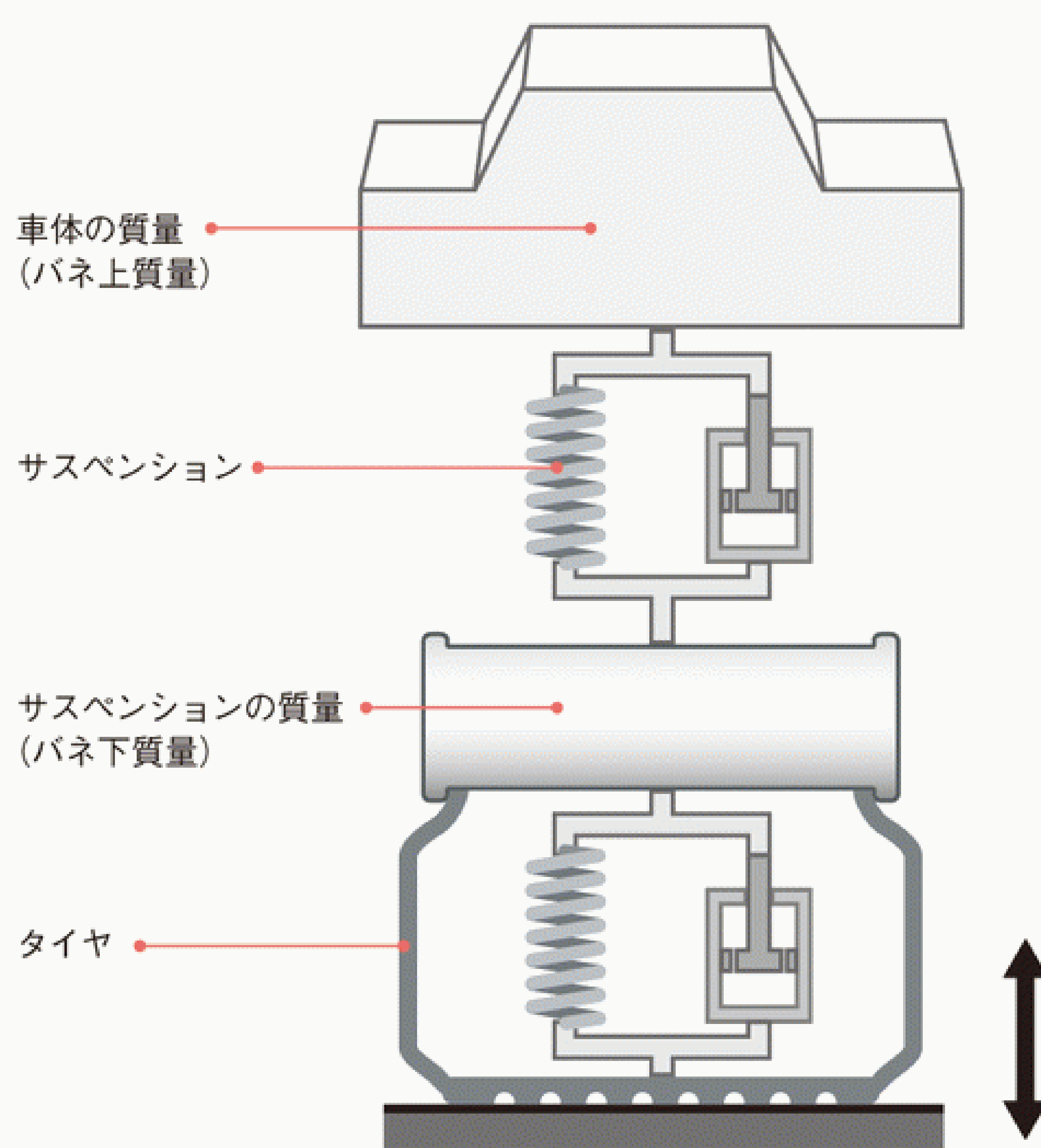
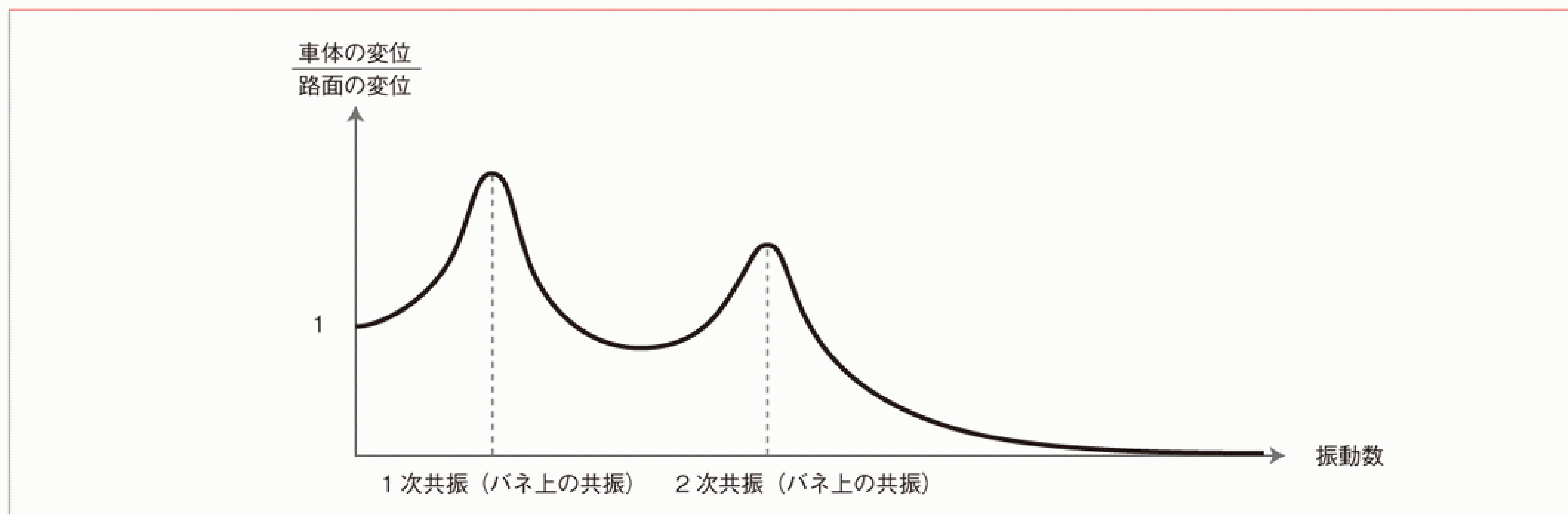




図1-8-2 振動数を徐々に上げていったときの変化。比較的低い振動数で車体の共振が起こり、それよりも高い振動数でホイールの共振が発生する



サスペンションの振動特性

上の例では共振が2回起こったが、共振は振動系が動き得る方向の数だけ起こり得る。このとき、振動系が動き得る方向の数を自由度と呼ぶ。この例の場合、タイヤとスプリングがそれぞれ上下1方向に動き得るので、合計2個の固有振動数があり、2種類の共振が起り得ることになるので、この振動系の自由度は2である。

最初の共振を1次共振、2つ目の共振を2次共振と呼ぶ。一般に機械の共振は無数に起こり得るが、工学的に重要となるのは低次の共振であり、高次の共振は通常無視される。つまり、この例で言えば、バネ上の共振の方がばね下の共振よりもより重要となる。

これは、同じエネルギーの振動でも通常は低周波の振幅ほど大きく、これらの成分が系全体の現象を支配し、振動特性の大部分を決定するからである。



図1-8-3 4 ポストリグ試験の風景。ニュルブルクリンク 24 時間レースに参戦した GT-R のサスペンション評価を行っている

2-1 タイヤの力学

▶ まずはタイヤが生み出す力を理解しよう

コーナリングフォース

物体をせん断するように変形させる力をせん断応力と言い、物体がせん断応力に対抗する性質をせん断弾性という。もしタイヤに対して横向きにせん断応力が働くと、図2-1-1のようにタイヤは横方向に変形する。しかし、同時にタイヤはこのせん断応力に対抗して元の形に戻ろうとする力を発揮する。実は、タイヤはこのように自身を変形させる作用に対して反発することにより、クルマの加速、減速、旋回に必要な力を生み出しているのである。

さらに、詳しく見てみよう。コーナリング中のタイヤを模式的に図に描くと図2-1-2のようになる。この図を見ると、タイヤの回転面とクルマの進行方向に差があることがわかる。つまり、タイヤは回転しながら横に変形することで力を発生しているのである。ここで、回転面と進行方向が成す角をスリップ角といい、進行方向に対して垂直方向に発生する力の成分をコーナリングフォースと呼ぶ。クルマが旋回できるのは、タイヤがこのようにコーナリングフォースを発生させるからである。

一般にせん断弾性が大きいほうが、同じスリップ角でも大きなコーナリングフォースを生み出す。ただし、せん断弾性が極端に大きすぎるとわずかなスリップ角で摩擦が飽和してしまい、ドライバーの感覚と合わなくなる。逆にせん断弾性が小さすぎると、変形が大きくなり過ぎ、ドライバーに不安感を感じさせる。

図2-1-1 横断面で見たタイヤの変形と力の関係。せん断弾性が大きいタイヤのほうが大きなコーナリングフォースを生み出す

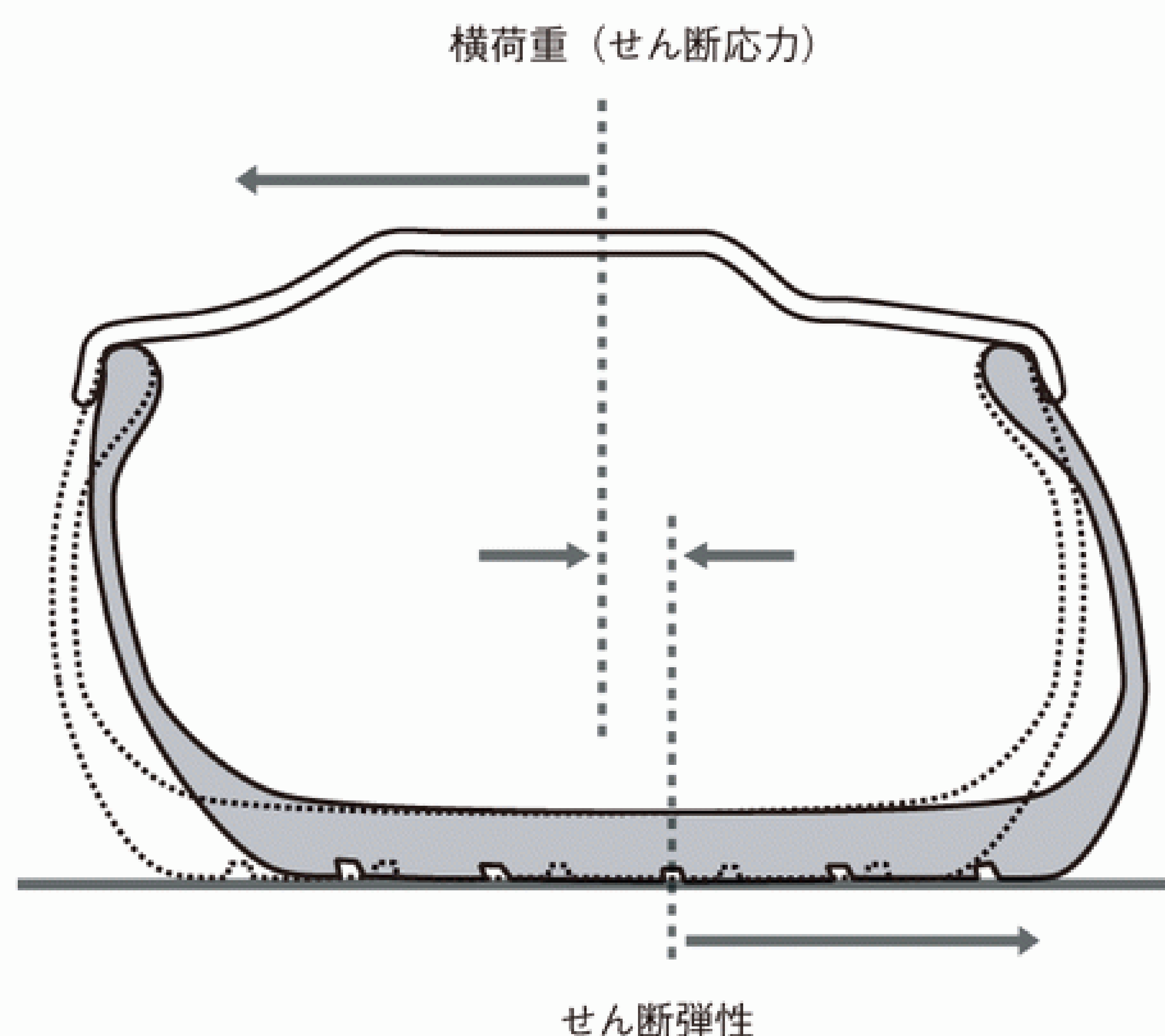
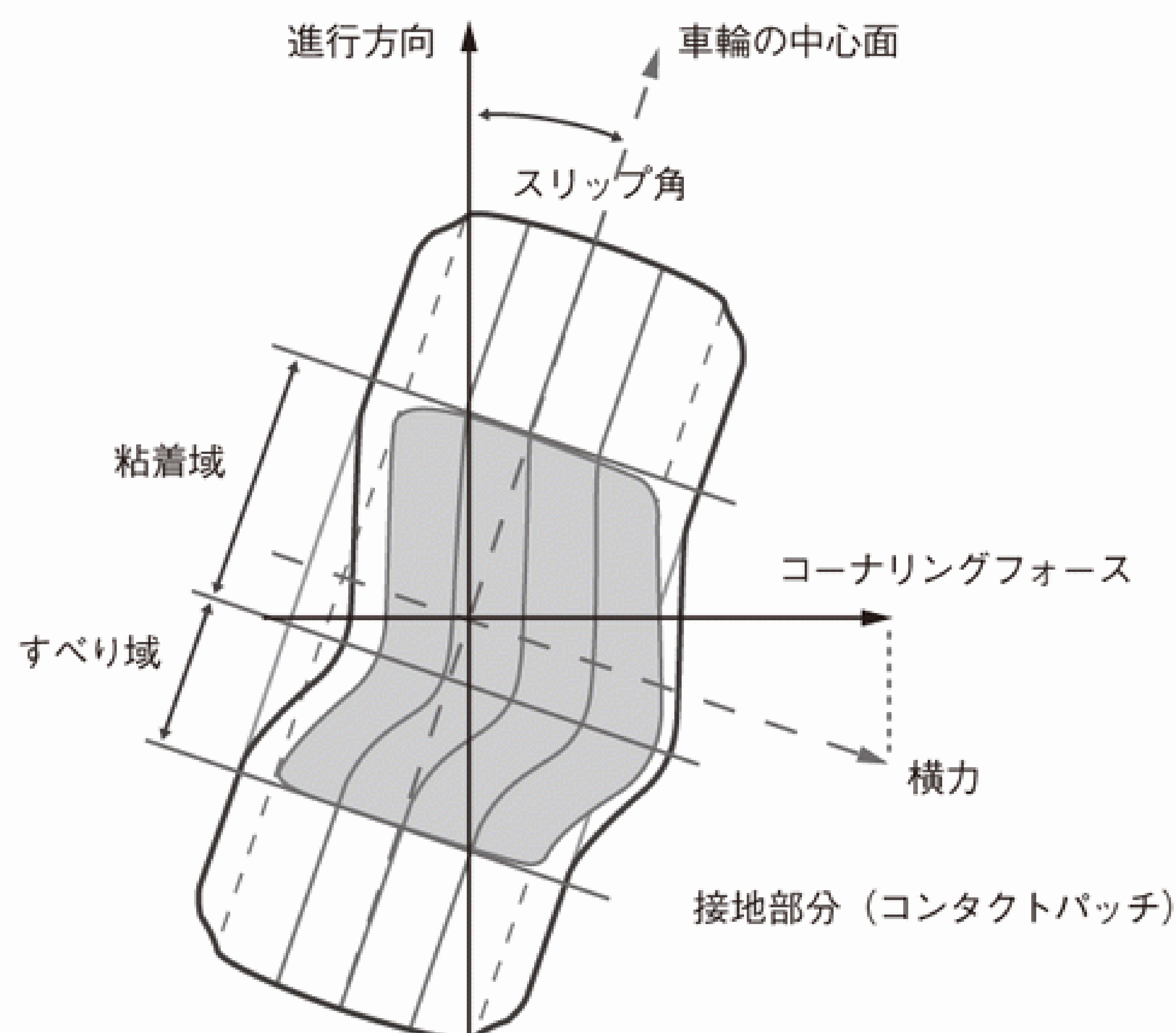


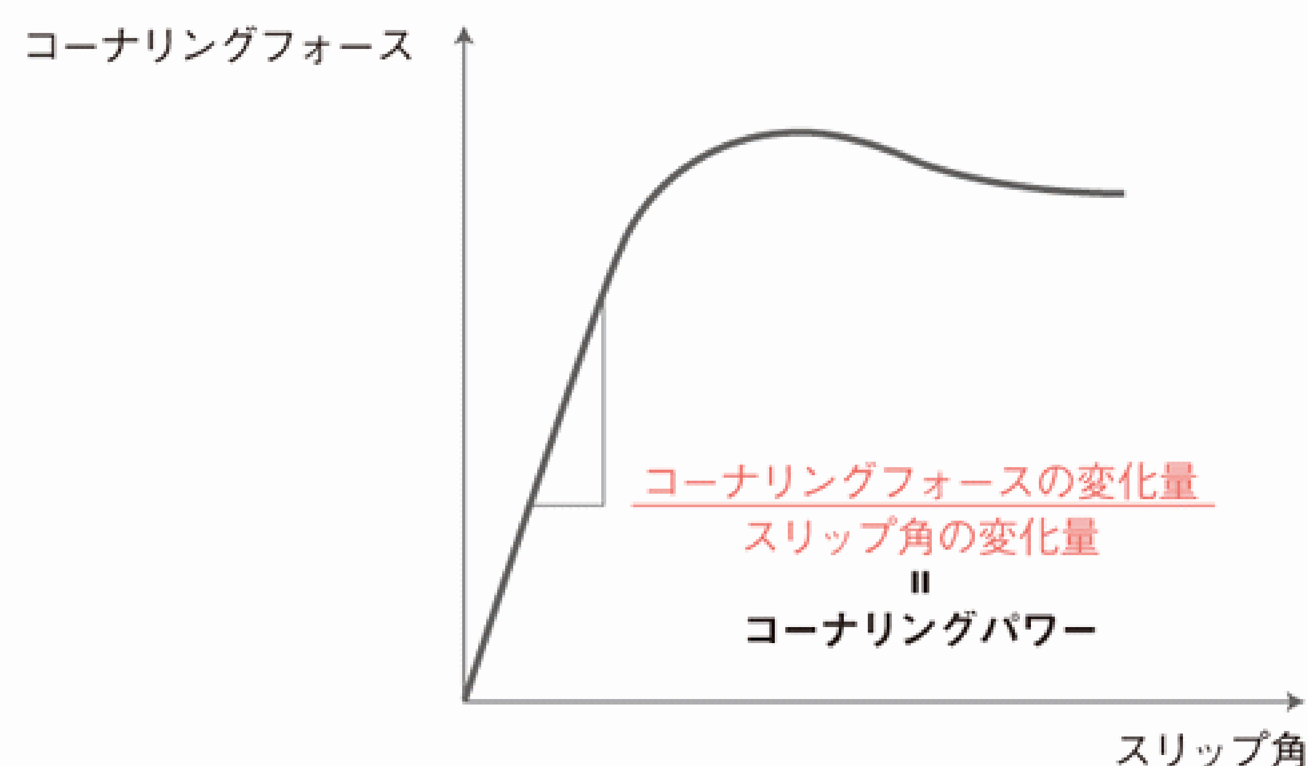
図2-1-2 上から見たタイヤの変形と力の関係。タイヤの横力は車輪の中心面に対して垂直に発生する。コーナリングフォースは進行方向に対して垂直方向の横力の成分である



コーナリングフォースとスリップ角の関係

スリップ角とコーナリングフォースの関係をグラフにしたものが図2-1-3だ。スリップ角の小さな範囲では直線的にコーナリングフォースが立ち上がり、ある程度スリップ角が大きくなると飽和する。このコーナリングフォースが変化する割合をコーナリングパワーと呼ぶ。わずかなスリップ角の変化で大きなコーナリングフォースが生み出すタイヤは、コーナリングパワーが大きいということになる。

図2-1-3 スリップ角とコーナリングフォースの関係。スリップ角が小さい領域ではコーナリングパワーは大きいが、スリップ角がある程度大きくなるとコーナリングパワーは増加しなくなる



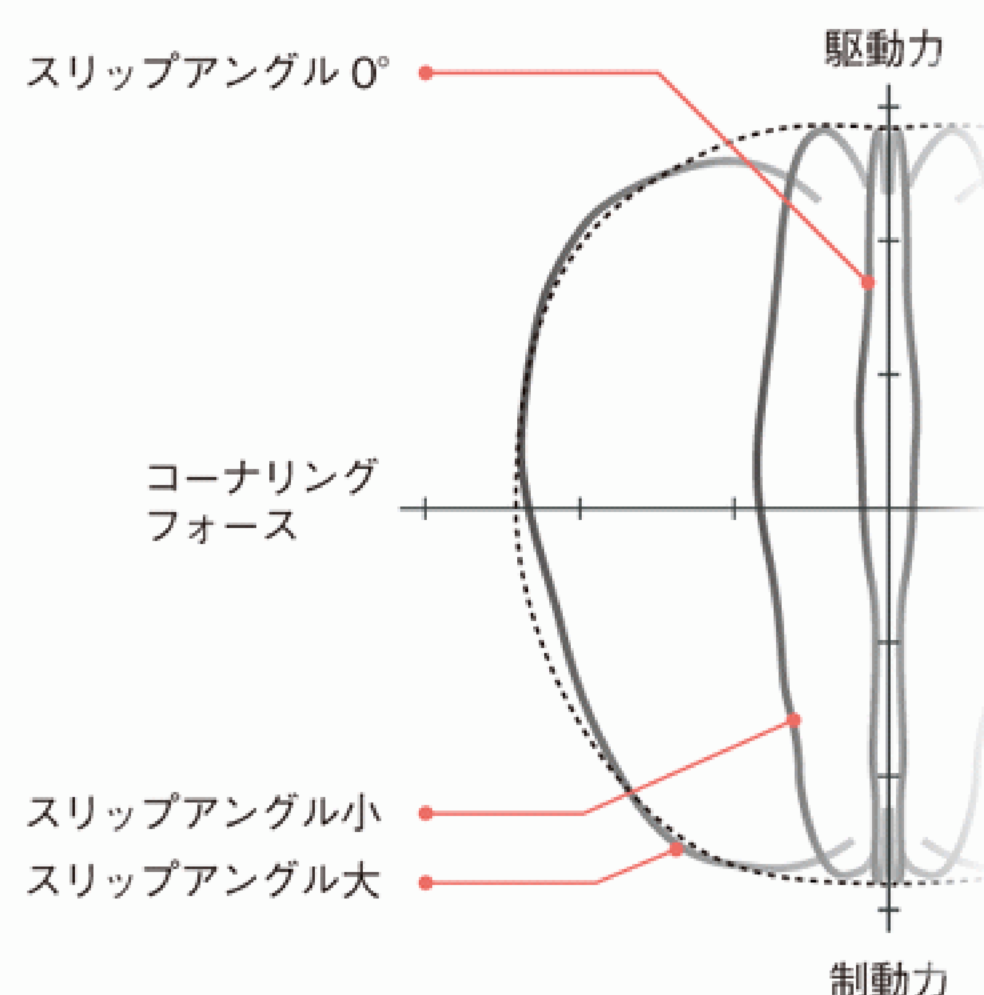
空気圧とコーナリングパワー

一般に空気圧が低い領域では、その増加とともにタイヤのせん断弾性が高まり、コーナリングパワーが大きくなる。しかし空気圧の上昇は路面との接地面積の減少をもたらす。このように接地面積とせん断弾性は空気圧に対して相反する効果をもたらす。垂直荷重が比較的小さい場合には、空気圧の増加に伴う接地面積の減少効果の方がせん断弾性の増加よりも影響が大きいため、コーナリングパワーは減少する。これに対して垂直荷重が比較的大きい場合には、空気圧の増大によるせん断弾性増大の効果のほうが支配的になり、コーナリングパワーの増大をもたらす。最大限のコーナリングパワーを得るためにはタイヤの特性や車重を考慮し、これらのバランスをとることが重要となる。

駆動や制動をともなうタイヤの横力

クルマを上から見たとき、タイヤの回転面と垂直方向に生まれるグリップ力を横力という。この横力が、駆動や制動の際にどのように変化するかということを理解しておくことも重要である。ブレーキやアクセルを踏み込むと、タイヤのグリップが制動力や駆動力に使われてしまうため、同じスリップ角でも発揮できる横力は減少する。この様子をグラフにしたのが図2-1-4である。実際のタイヤは前後方向と横方向の摩擦力が異なるためこのように楕円型となる。レーシングカーは操舵を伴う駆動や制動を頻繁に行うため、斜め方向の摩擦力はラップタイムに影響しやすい。

図2-1-4 スリップアングルによりタイヤのコーナリングフォースには違いが出る



2-2 車両の定常円旋回

▶ 車両の旋回は前後輪のモーメントのバランスで決まる

ステア特性の定義

ある一定の舵角と速度で走行する車両は、ある旋回半径を保った円を描く。これを定常円旋回と呼ぶ。定常円旋回を行っている車両の運動を考察すると、車両運動の基本特性をよく理解できるようになる。

ある速度で定常円旋回を行っている車両があるとして、この状態から徐々に速度を上げていくことを考えよう。もし速度を上げていったときに、前輪によるモーメントの方が小さくなれば、速度と共に旋回半径は大きくなり、定常円旋回を続けるためには舵角を切り増す必要がある。これに対し、もし前輪のモーメントの方が大きくなれば、速度とともに旋回半径は小さくなるため、舵角を減らす必要がある。

このように、走行速度の増加に対して、前者のように舵角が不足する特性をアンダーステア(US)、後者のように舵角が過剰となる特性をオーバーステア(OS)、旋回半径が速度の増減と無関係に一定の値を保つ特性をニュートラルステア(NS) といい、こうした車両の特性をステア特性と呼ぶ。

注意すべきなのは、OSの車両はある速度で旋回半径が0になることだ(図2-2-2)。旋回半径が0とは車両がスピンに陥ることを意味する。このスピンにいたる速度を、安定限界速度という。

図2-2-1　速度を増加させたときの車両の軌跡の変化

OS：前輪によるモーメント＞後輪によるモーメント
US：前輪によるモーメント＜後輪によるモーメント
NS：前輪によるモーメント＝後輪によるモーメント

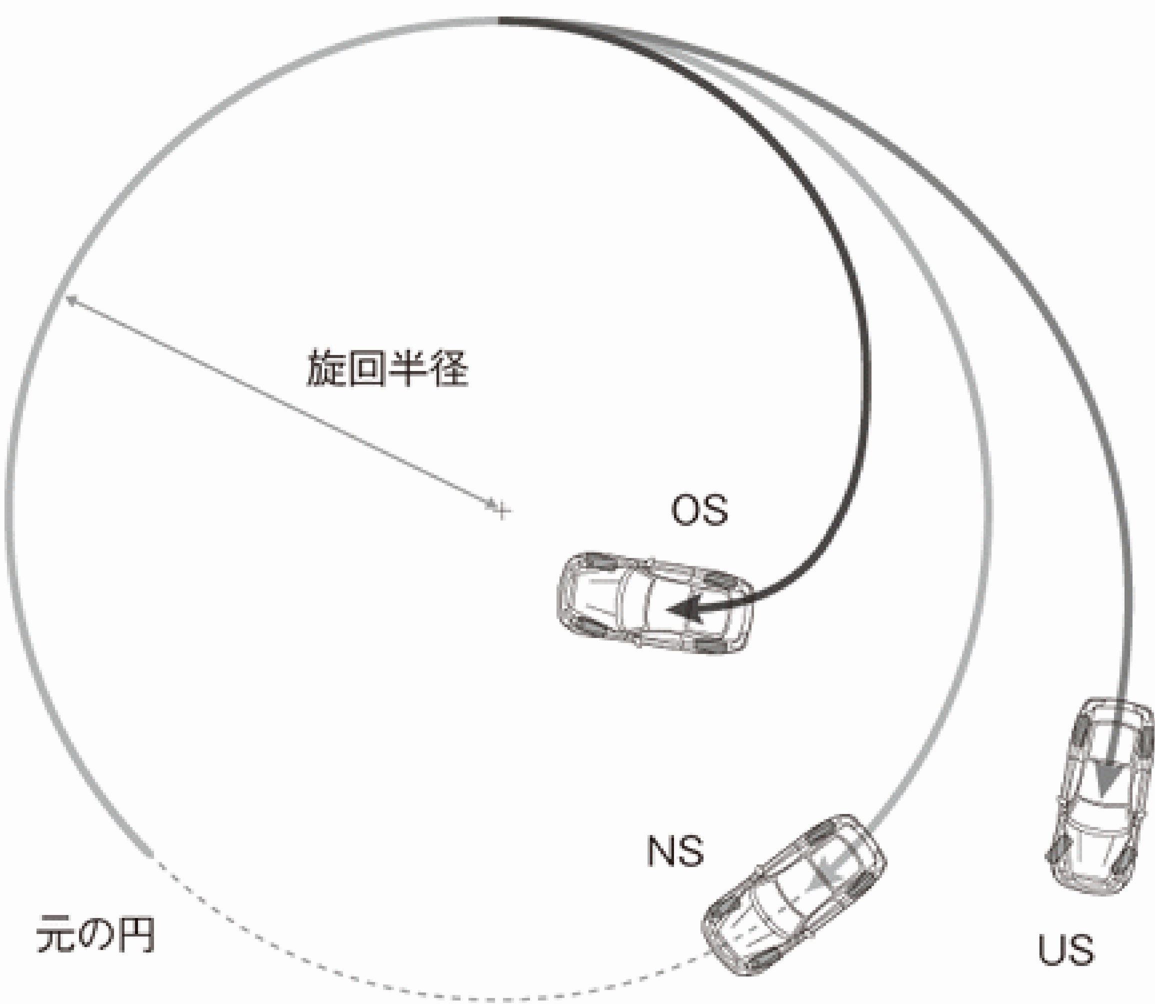


図2-2-2　実舵角が一定のときのステア特性による速度と旋回半径の関係

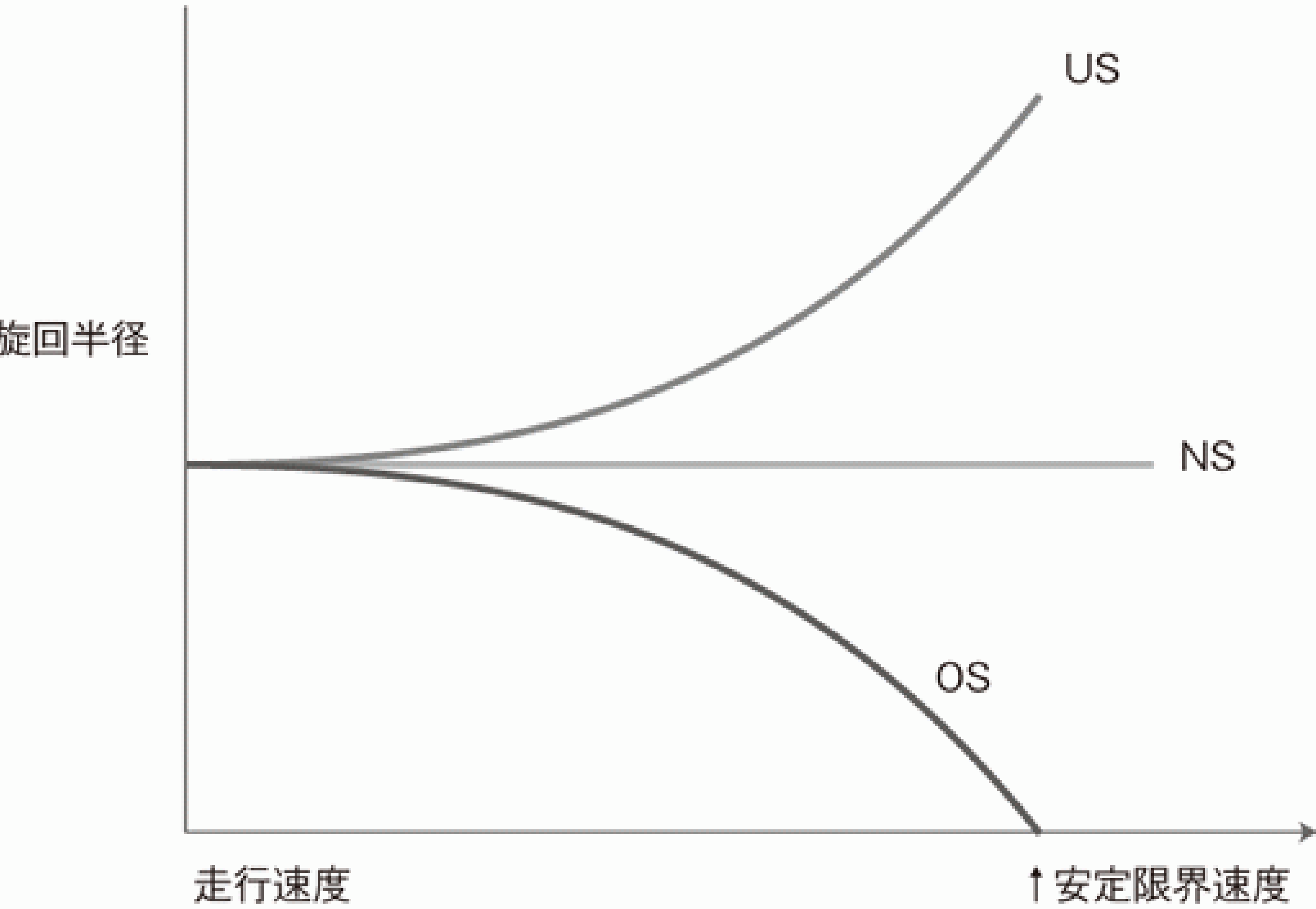


表2-2-1　定常円旋回時のステア特性の特徴

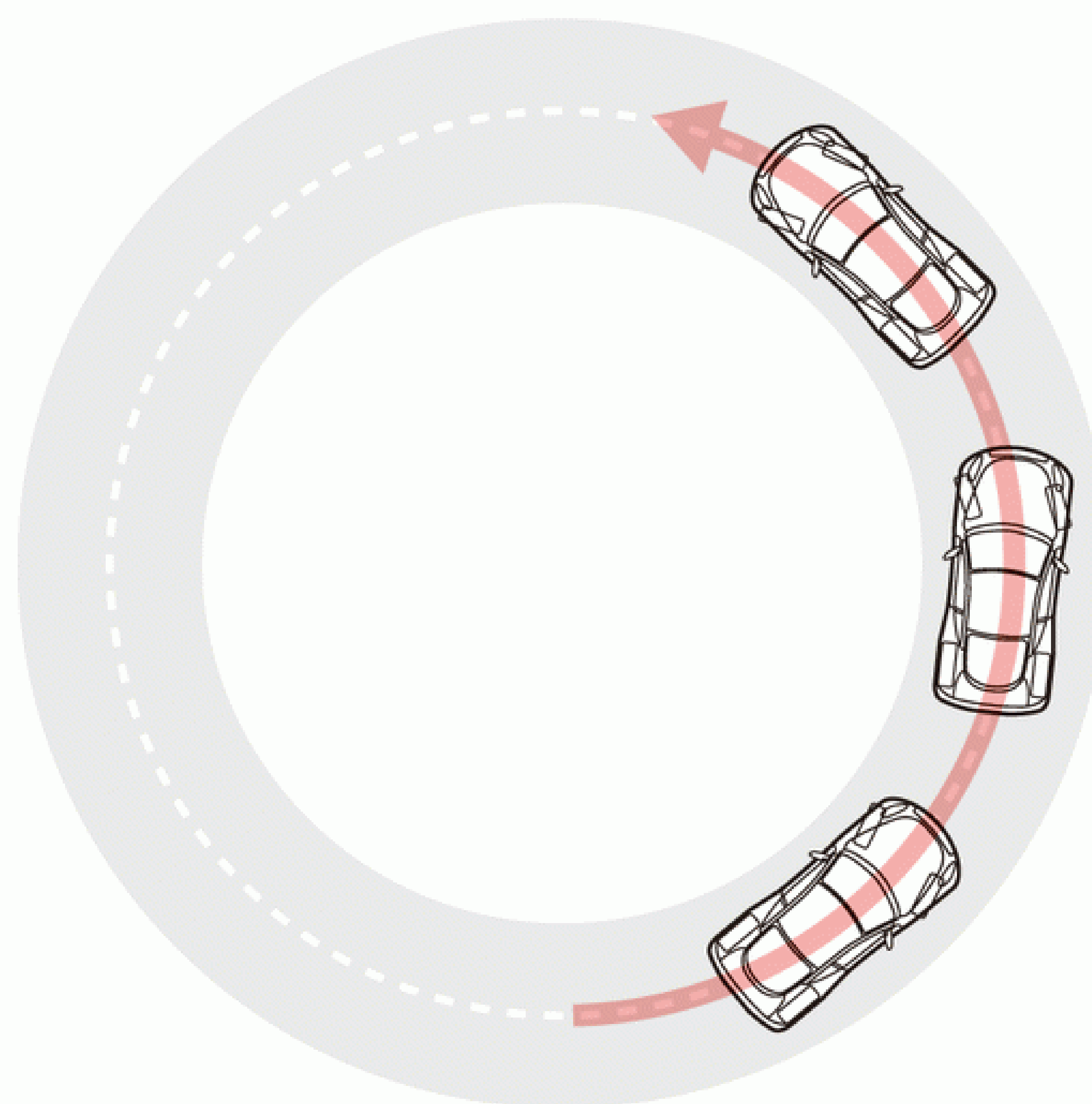
	US	NS	OS
M：車両を回転させるモーメント	M前輪＜M後輪	M前輪＝M後輪	M前輪＞M後輪
β：スリップ角	β前輪＞β後輪	β前輪 ＝ β後輪	β前輪＜β後輪

ステア特性とスリップ角の関係

前後のタイヤのスリップ角β前輪、β後輪とステア特性の間には興味深い関係がある。表2-2-1を見てほしい。定常円旋回中の前後のスリップ角の関係が、β前輪＞β後輪であればUSであり、β前輪＝β後輪であればNSであり、β前輪＜β後輪であればOSとなる。この関係は、前後輪にタイヤのコーナリングフォース以外の横力が働くかどうかや、コーナリングフォースがタイヤのスリップ角に比例するかなどとは無関係に、定常円旋回を行う車両において、幾何学的に決まる関係である。

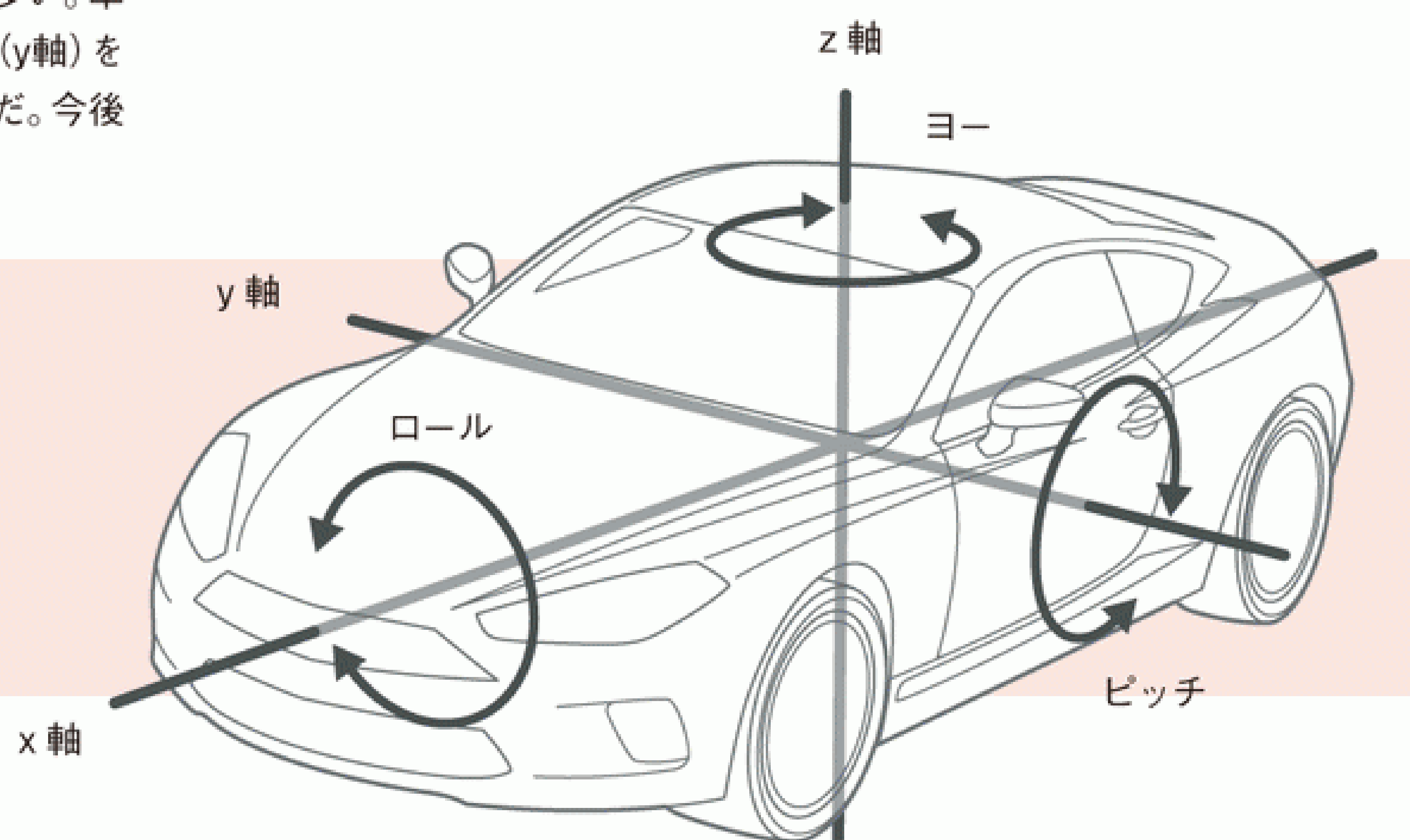
図2-2-3 クルマのステア特性は、前後のタイヤのスリップ角の差によって判断できる





TIPS コーナリングやサスペンションの動きを論じるときには、車両に生じる力を図2-2-4のように3つの回転運動に分けて考えることが多い。車体の前後方向の軸（x軸）を中心に起こる回転がロール、左右方向の軸（y軸）を中心に起こるのがピッチ、上下方向の軸（z軸）を中心に起こるのがヨーだ。今後しばしば使われるので覚えておこう。

図2-2-4 車両に生じる３つの回転運動



2-3 舵角の変化に対する車両の応答

▶ 車両の運動は一つの振動現象にすぎない

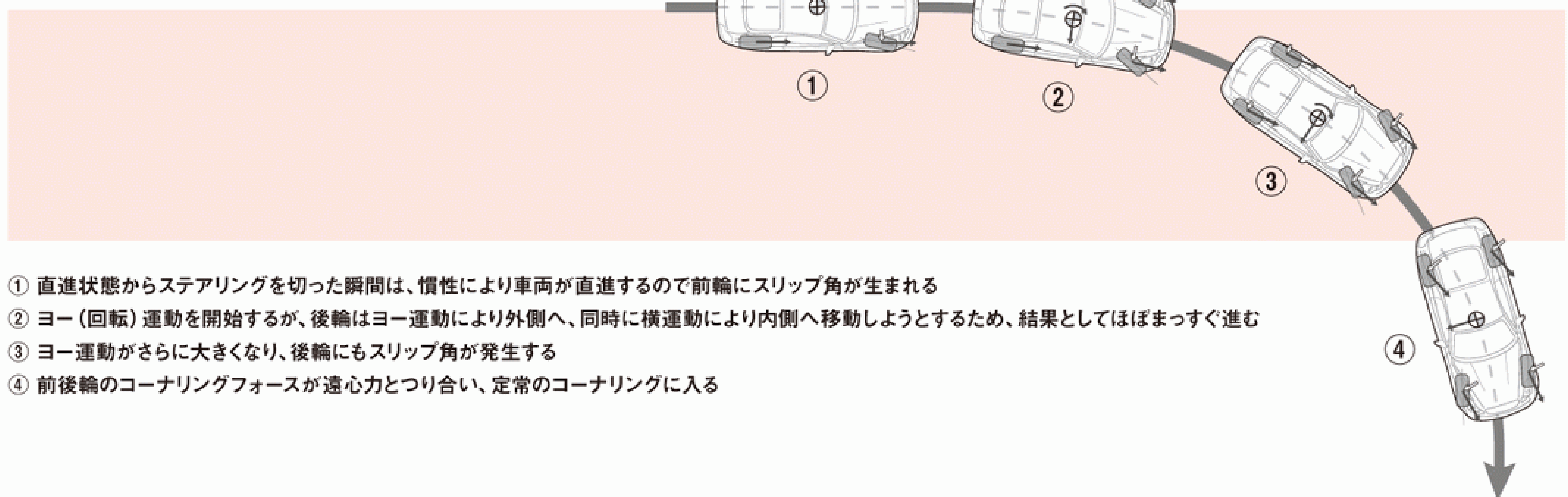
ターンインのメカニズム

定常円旋回を考察することにより、車両運動の基本的な性質をよく理解することができるが、舵角が変化するとき、その車両がどのように応答するのかという問題も、実践的な車両運動の解析において無視できない重要な問題である。

図2-3-1を例に、まずはターンインの仕組みを、順を追って見ていこう。①直進しているクルマがステアリングを切ると、その瞬間は慣性により車両は直進を続けようとする。それにより前輪の向きと進行方向に差ができ、前輪にスリップ角が生まれ、コーナリングフォースが立ち上がる。ただし、コーナリングフォースはタイヤの変形により発生するので、そこにはほんのわずかだがタイヤが変形する時間が必要となる。②こうして前輪にコーナリングフォースが発生すると、そのモーメントによりヨー（回転）運動が始まるが、後輪はその瞬間にはまだほぼ直進運動を続けている。③さらに時間が経過すると、後輪にもスリップ角がつき、後輪のコーナリングフォースが発生する。④前輪と後輪のコーナリングフォースが共に一定となったところで、ようやくヨー角速度もある値に定まり、定常のコーナリング状態に入るのである。

以上のように、ヨー運動は操舵に対して時間差なしで追従するのではなく、車両の慣性とタイヤの力の発生の関係から両者の間にはわずかに時間差（位相差）が存在することに注意しよう。

図2-3-1　ターンインのメカニズム



① 直進状態からステアリングを切った瞬間は、慣性により車両が直進するので前輪にスリップ角が生まれる
② ヨー（回転）運動を開始するが、後輪はヨー運動により外側へ、同時に横運動により内側へ移動しようとするため、結果としてほぼまっすぐ進む
③ ヨー運動がさらに大きくなり、後輪にもスリップ角が発生する
④ 前後輪のコーナリングフォースが遠心力とつり合い、定常のコーナリングに入る

ステアバランスと車両の応答

ドライバーの操舵の変化に対する車両の応答は、ステア特性と車速に大きく左右される。その例として、ステアリングをパルス状（素早く切って素早く戻す）に操舵したときの車両の応答を概念的に示した例が図2-3-2である。USの車両はある速度以上では振動的になるが、やがて収束して定常状態となる。NSの車両は振動することなく、そのまま定常状態となる。OSの車両は安定限界速度以上で走行していた場合、車両の応答は振動せずに発散してしまうため、スピンに陥る。これを整理したものが表2-3-1である。

以上のように、USやNSは速度によらず安定性を保つが、OSの車両は安定限界速度以上では安定性を失うという性質がある。

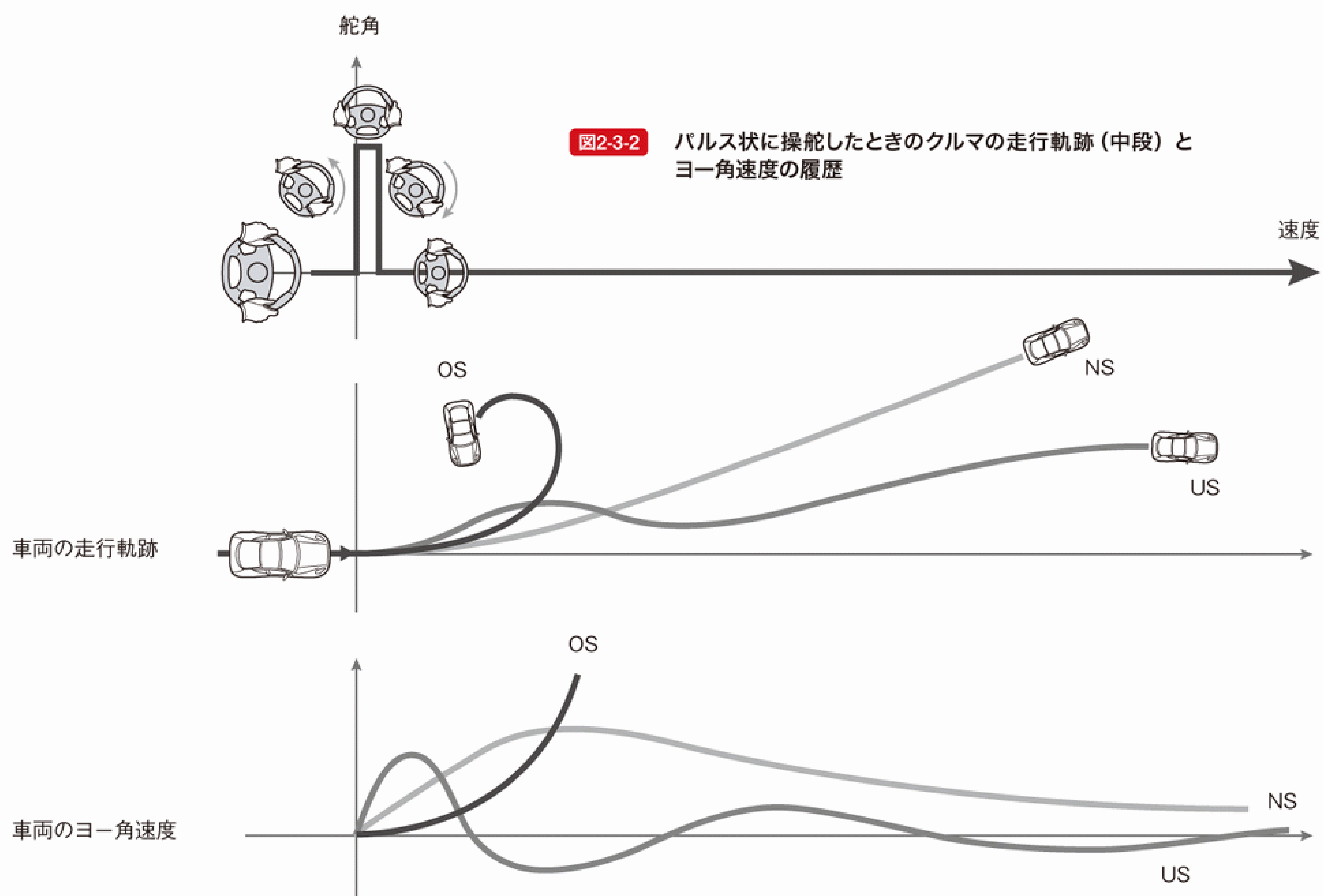


図2-3-2 パルス状に操舵したときのクルマの走行軌跡（中段）とヨー角速度の履歴

表2-3-1

US		振動的に減衰
NS	非振動的に減衰	
OS		発散

↑安定限界速度　　車速→

振動理論の車両運動への適用

ここで、1-5で説明した、減衰比による振動の様子の違いを思い出そう。1-5では減衰比が1以下なら不足減衰で、振動系の応答は振動的になり、減衰比が1以上であれば過減衰で、応答は振動することなく減衰され、減衰比が1であれば臨界減衰であることを確認した。ここで、質量とバネとダンパーから成る振動系の振る舞いと図2-3-2にある車両の運動がよく似ていることに気づく。

実は、PART 1で見てきた質量とバネとダンパーから成る振動系も車両の運動も、減衰比や共振周波数(や固有振動数）といったある一定の抽象的な概念からそれらの動きを考察してみると、両者の違いは一切なくなり、どちらもひとつの振動系として扱うことができる。つまり、車両の運動はひとつの振動現象の例にすぎないのである。

例えば、図2-3-2に示した例を用いて具体的に見てみよう。USの車両はヨー減衰の減衰比が1以下であるため、応答は振動的になる。OSの車両はヨー減衰の減衰比が1以上であるため、その応答は非振動的になる。NSの車両はUSとOSの境目で、ヨー減衰の減衰比は1で臨界状態あるため、その応答は非振動的になる(ここでヨー減衰とはヨー運動を減衰させる作用である)。

2-4 周期的な操舵に対する車両の応答

▶ ボード線図により車両の特性を知る

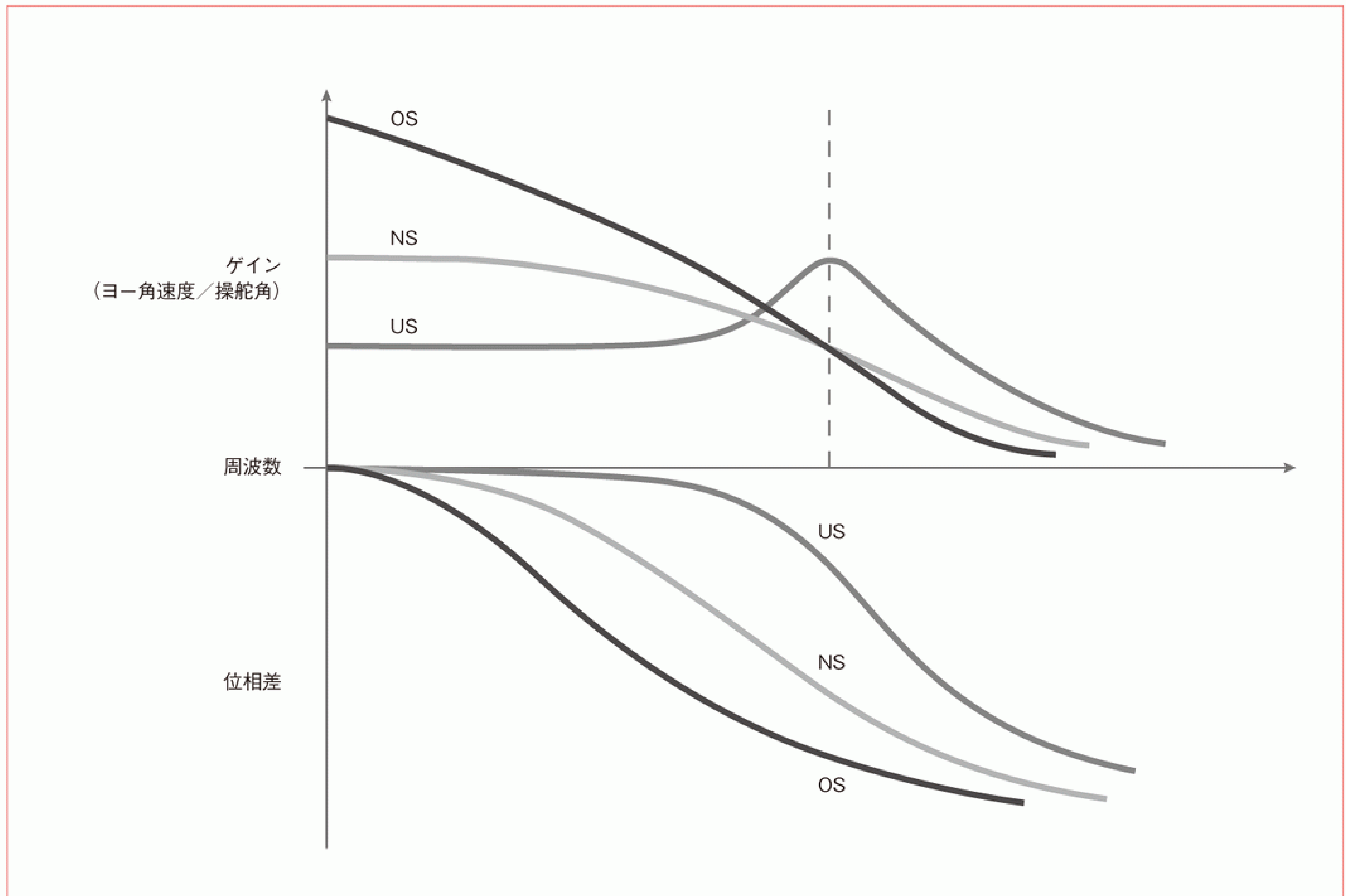
ステア特性と周期的操舵に対する応答

前項で、車両の運動はひとつの振動現象にすぎないことを説明した。ここでは一定の車速でステアリングの「切る」「戻す」を繰り返して（周期的操舵を与えて）、その操舵の速さ（操舵周波数）を変えていったとき、その車両がどのように応答するのかを振動理論を用いて調べることにより、ステア特性の違いによる車両の特性を明らかにしていくことにしよう。

ここで、1-7で解説したボード線図を思い出そう。図2-4-1は周期的な操舵に対するヨー角速度の周波数応答を示すボード線図である。操舵の周波数が極めて低いとき（ステアリングを非常にゆっくり切るとき）のゲイン（振幅比）は、OS、NS、USともに定常円旋回のヨー角速度にほぼ一致する。逆に、操舵周波数が高くなると、USの車両はある周波数でピークができ、振幅比が大きくなるが、NSやOSの車両はピークを持たず、操舵周波数の増大とともにゲインは減少する。

位相線図を見ると、操舵周波数が高くなるにつれて、どのステア特性でも位相の遅れが大きくなるが、USのクルマがもっとも位相遅れが小さい。つまり、アンダーステアのクルマほど、操舵に対して最も素早く反応する車両であると言える。

図2-4-1　周期的操舵に対するヨー角速度の応答のステア特性による違いの概念図

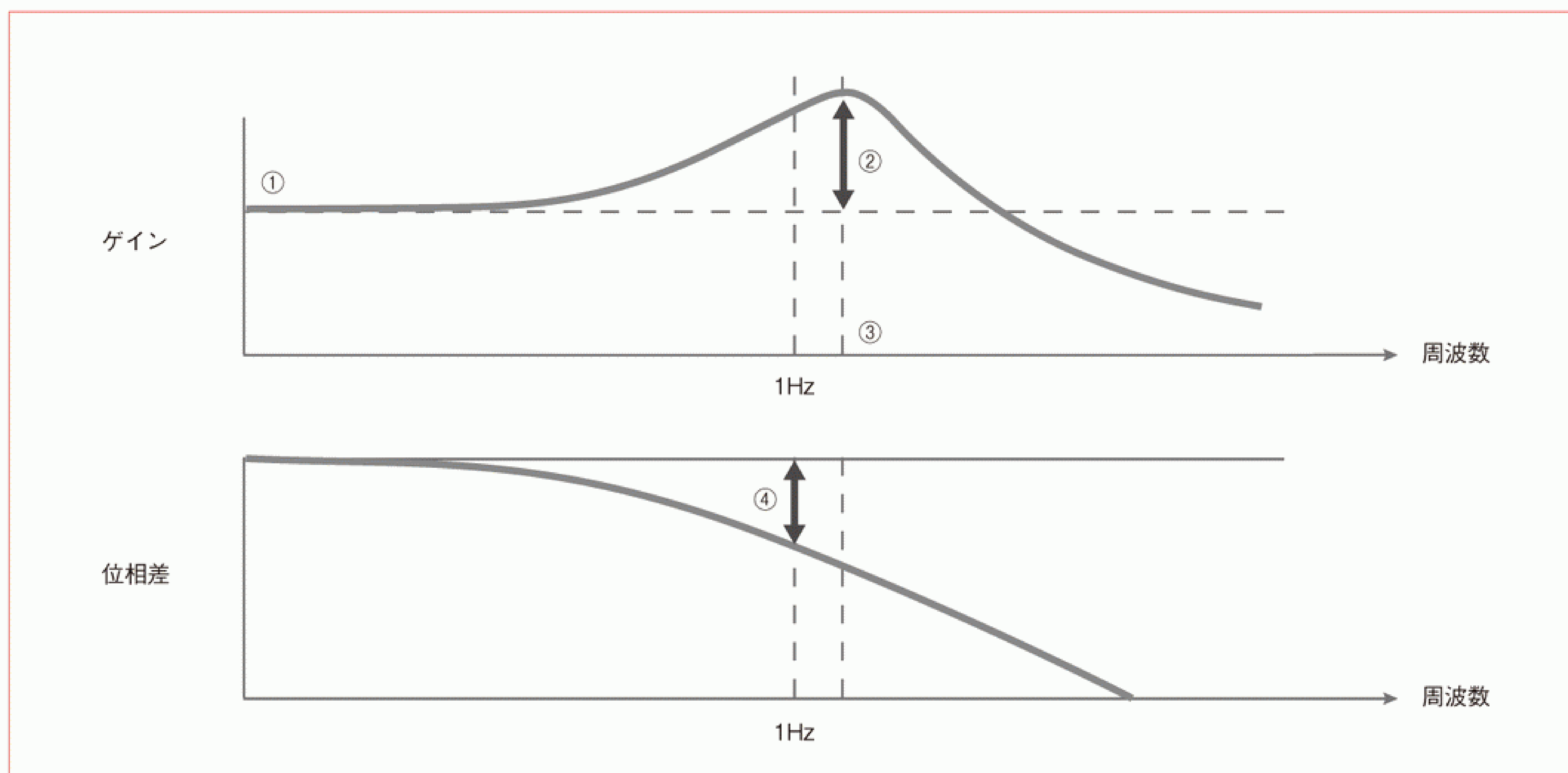


ボード線図の注目ポイント

ここでボード線図の実際の活用の仕方をより具体的に述べておこう。ボード線図には注目すべきポイントがいくつかある。

ヨー角速度の周波数応答を例にとると、1つ目は極低周波のゲインである(図2-4-2の①の部分)。この値は定常円旋回のときの値とほぼ同じである。2つ目はゲインのピークの高さである(図2-4-2の②の部分)。USが強い車両ほどヨー減衰が小さくなるため共振が大きくなり、ゲインのピークは高くなる。ただしNSやOSにはピークは現れない。3つ目は共振周波数である(図2-4-2の③の部分)。共振周波数が高いほど、応答性が良く、ドライバーは舵の効きの鋭さを感じることができる。4つ目は位相の遅れである(図2-4-2の④の部分)。位相遅れが大きいほど舵角に対してヨー角速度の発生が遅れる。したがって良好なステア特性を確保するには、適度な共振点の高さを確保し、位相遅れの小さい車両、つまりUSの車両を作らなくてはいけない。

図2-4-2 ボード線図の４つの注目点



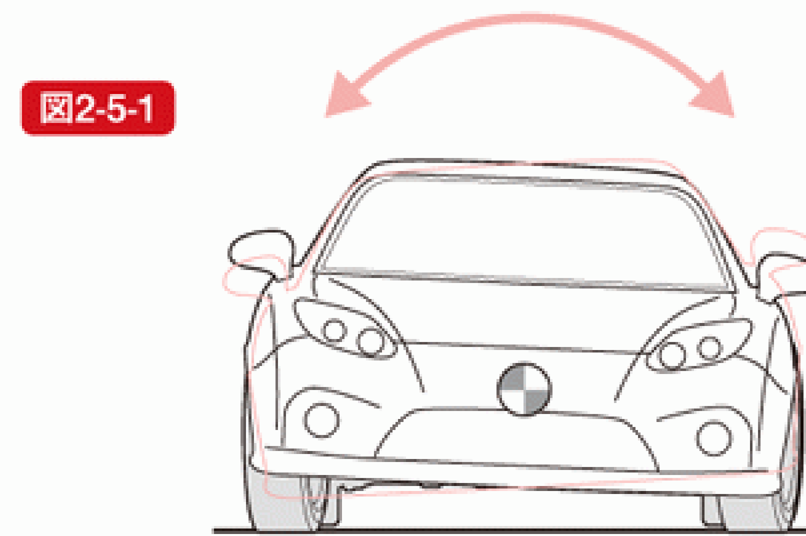


2 5 車体のロールと運動

▶ ロール運動をステア特性の調整に活用する

旋回中のクルマは車体が外側にロールする(P39、図2-2-4参照)。これまでは話を単純にするために、車体のロール運動は考慮せずに議論を進めてきたが、実際にはロール運動を考慮した場合としなかった場合とでは車両運動の特性に違いが生じる。そこで、ここではロール運動が車両の運動に与える影響を確認していくことにしよう。

図2-5-1



荷重に対するコーナリングフォースの変化

図2-5-2を見ると、車体にかかる荷重が2倍になってもコーナリングフォースは2倍にはならないことが分かる。これは、荷重が高まるにつれて、コーナリングフォースの増加が徐々に鈍くなる(飽和曲線的になる)ためだ。車両が旋回するときには内輪から外輪への荷重移動が起こるが、上記の理由から、左右のコーナリングフォースの和は荷重移動を考えない場合よりも減少する。つまり旋回による荷重移動が大きいほど、左右のコーナリングフォースの和の減少量も大きくなってしまう。

図2-5-2 タイヤの荷重とコーナリングフォースの関係。荷重とコーナリングフォースは比例しておらず、荷重が2倍になってもコーナリングフォースは2倍にならない

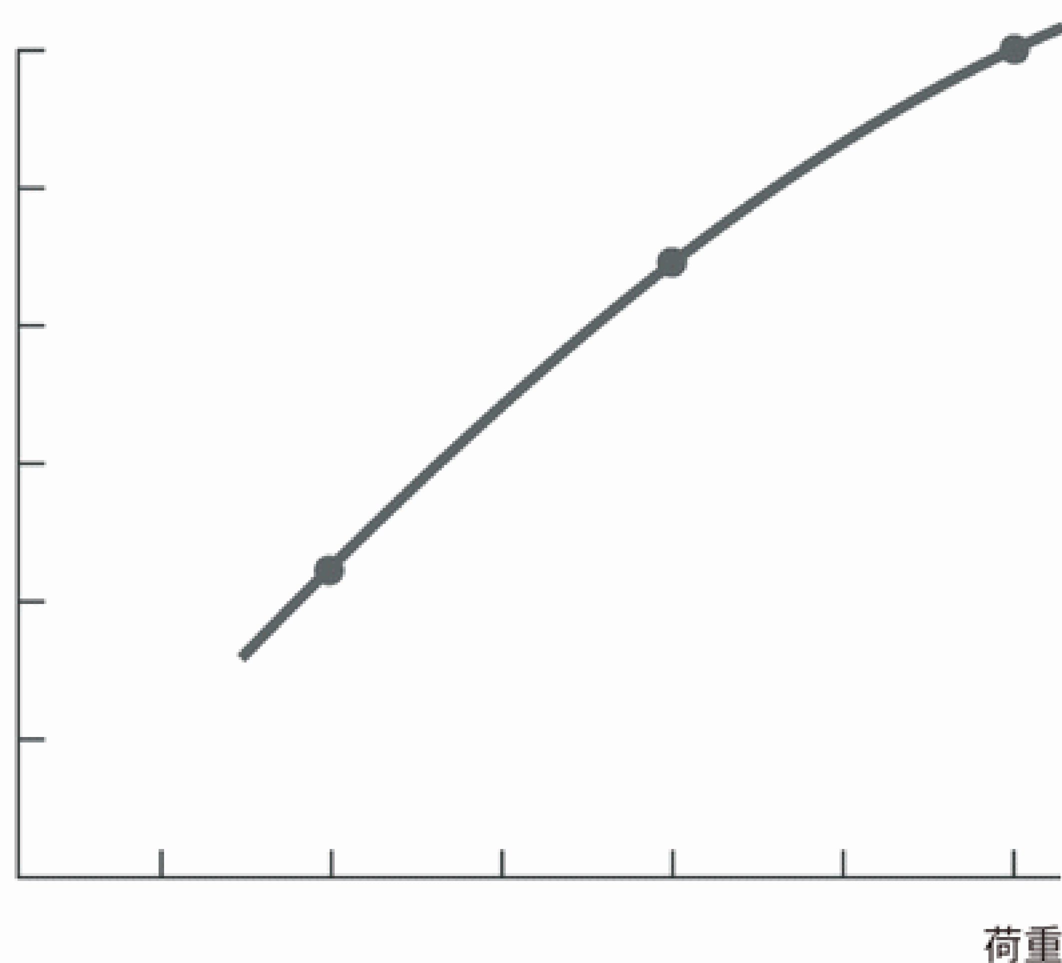
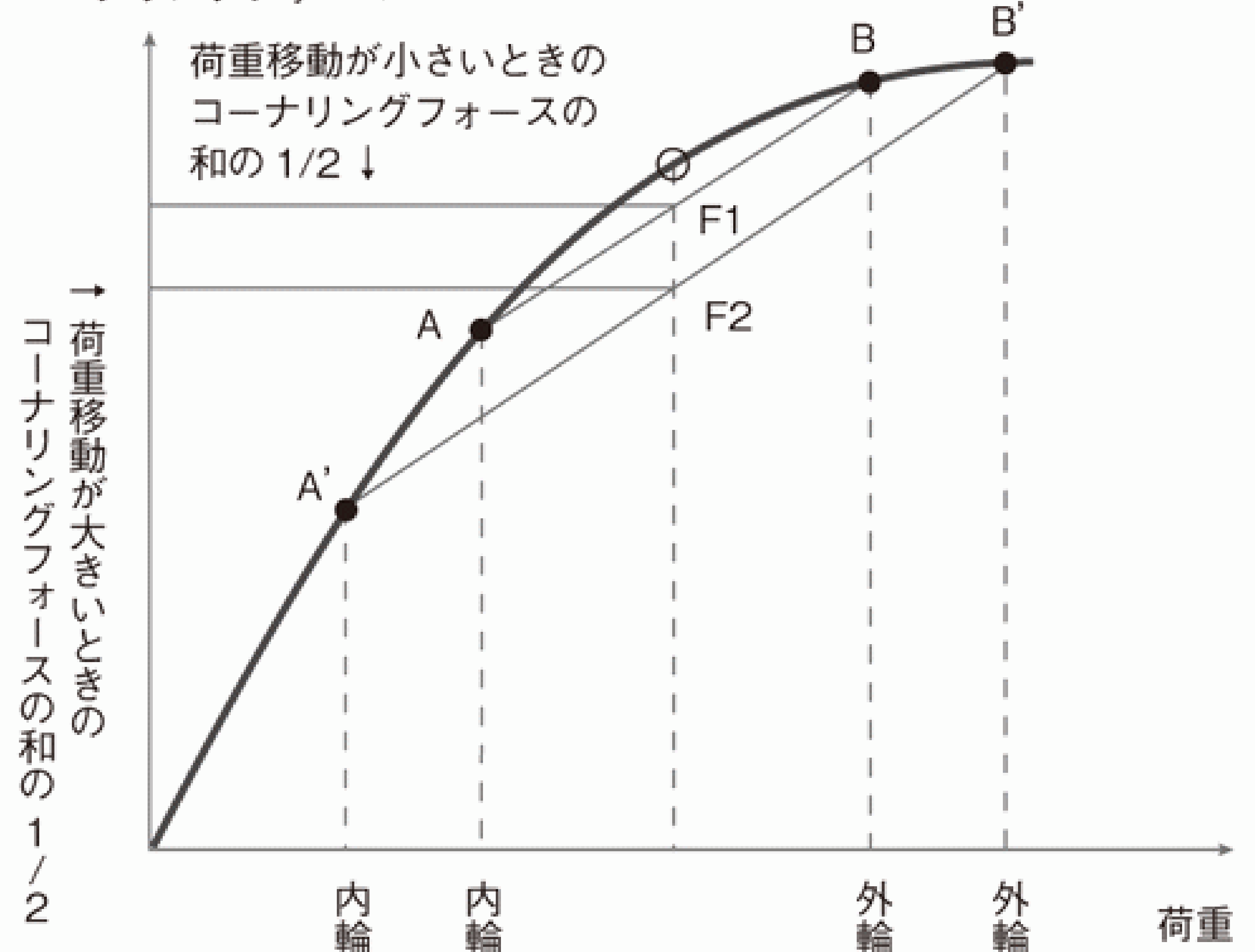


図2-5-3 荷重移動の大きい場合と小さい場合を比較してみる。荷重移動の小さい車両では内輪Aと外輪Bの和の半分F1がコーナリングフォースとなるのに対し、荷重移動が大きい車両ではA'とB'の和の半分F2がコーナリングフォースとなる。つまり荷重移動が小さい車両のほうが、トータルのコーナリングフォースが大きいということになる



前後の荷重移動量が異なるときのステア特性

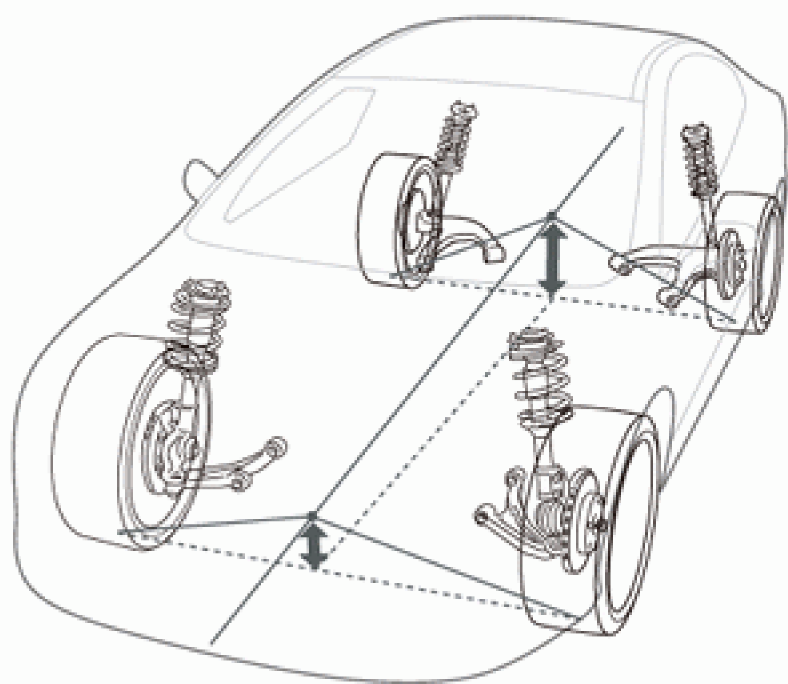
タイヤのコーナリングフォースの発生は垂直荷重に対して飽和的に変化するため、ロール運動による荷重移動の大きさが前後で異なると、ステア特性が変化することになる。もし「前輪の荷重移動量＞後輪の荷重移動量」という関係があれば、ステア特性はUS方向に変化する。逆に「前輪の荷重移動量＜後輪の荷重移動量」であれば、ステア特性はOS方向に変化することになる。

左右の荷重移動量は、「ロール運動に関する外力の作用」と「それに反発する車両のロール剛性による作用」との釣り合いの関係から決まる。この関係は主に前後のロールセンターの高さ、前後のロール剛性比、前後のトレッド幅によって決定される。詳細は省略するが、ロールセンターの高さはタイヤが発生する横力によるモーメントに関係し、ロール剛性比は外力によるモーメントを受け持つ前後配分に関係し、トレッドは荷重移動によるモーメントに関係している。以上の関係から荷重移動量が決まり、ロール運動によるステア特性への影響が明らかとなるのだが、結論だけをまとめると表2-5-1のようになる。

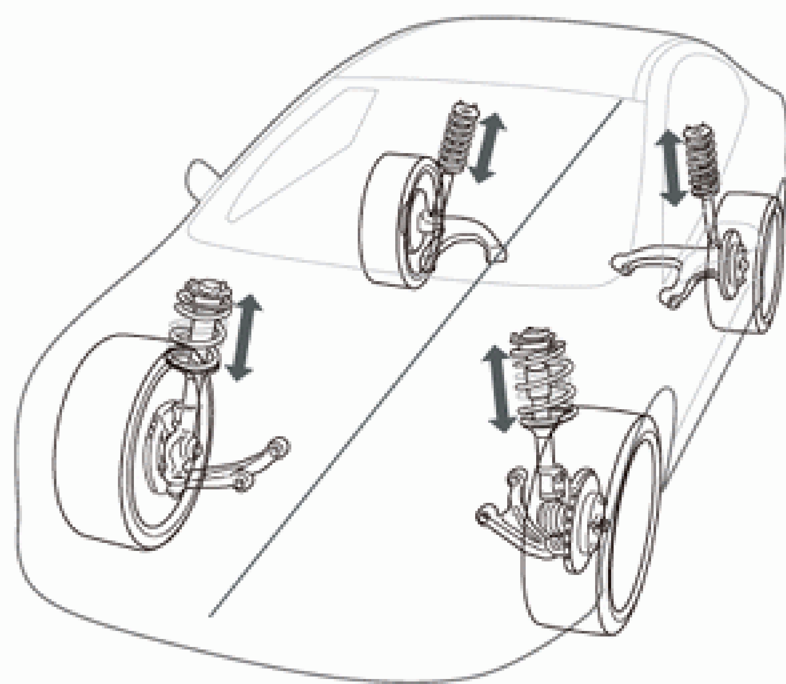
表2-5-1 サスペンションのチューニングとステア特性の変化

	US方向	OS方向
ロールセンター　前輪	高	低
ロールセンター　後輪	低	高
フロントのロール剛性配分	大	小
トレッド　前	小	大
トレッド　後	大	小

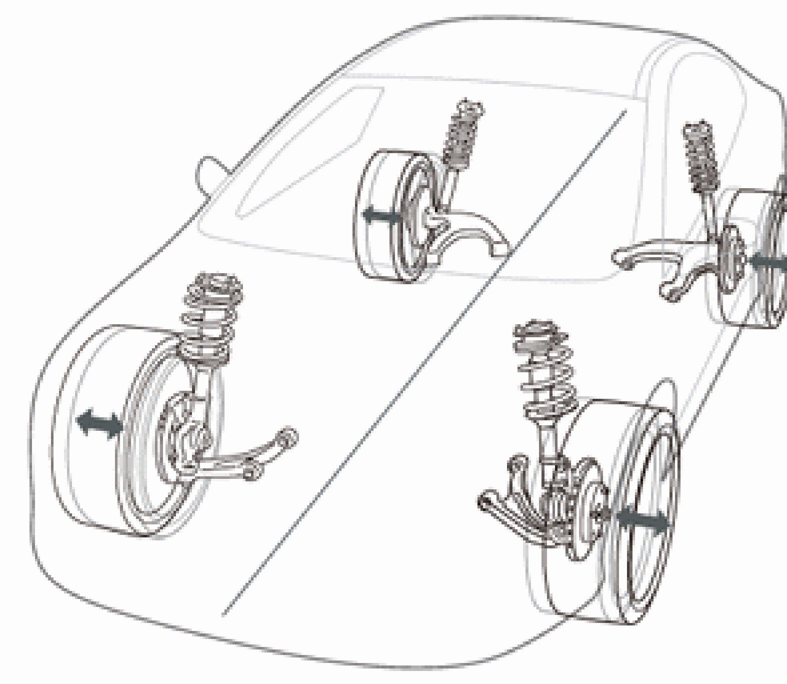
図2-5-4



前輪のロールセンターを高くする、あるいは後輪のロールセンターを低くするとアンダーステアが強まる



フロントのロール剛性配分を大きくすることでアンダーステアが強まる



前輪トレッドを狭く、あるいは後輪トレッドを広くするとアンダーステアが強まる

2-6 バネ上質量とバネ下質量の振動

▶ サスペンションチューニングの振動特性

車両の上下振動は、乗り心地やタイヤの接地性に影響する重要な問題である。大きな車体の振動は乗り心地を悪化させ、さらにタイヤの接地面を乱してグリップを失う原因にもなるため、適切にスプリングとダンパーをチューニングしなければならない。ここではサスペンションのチューニングにおいて知っておくべき車両の上下振動の特徴を紹介する。

振動モード

バネ上質量とは、サスペンションによって支えられる質量であり、バネ下質量とはサスペンションとタイヤの質量である。ここではバネ上質量のバウンス振動とピッチング振動、そしてバネ下質量の上下振動を見ていく。

車両の振動現象をより簡潔に理解するために、図2-6-1のような、前後2輪で車体を支えるモデルを使って考えてみよう。この振動モデルにおいて変位可能な方向は、バネ上質量は前後ともに上下方向に1方向ずつ(合計2方向)、前後のばね下質量も上下方向に1方向ずつ(合計2方向)、合計4方向であるので、自由度は4で、固有振動数は4つあることになる。1次共振は、前後のバネ上質量が同相(前輪が伸びるときに後輪も伸び、前輪が縮むとき後輪も縮む)で起こるバウンス共振、2次共振は前後のバネ上質量が逆相(前輪が伸びるときに後輪が縮み、前輪が縮むとき後輪が伸びる)で起こるピッチング共振、3次と4次はバネ下質量(タイヤ)の共振である。

図2-6-1 前後2輪で車体を支える上下振動モデル。変位可能な部分が4つある

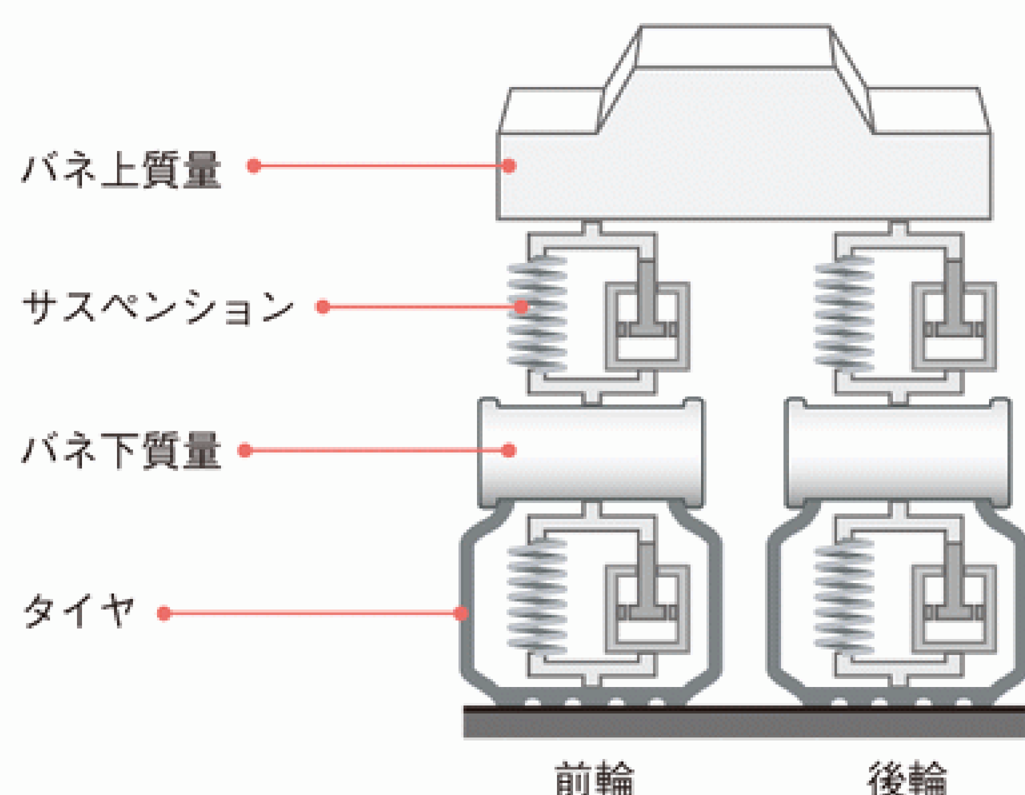
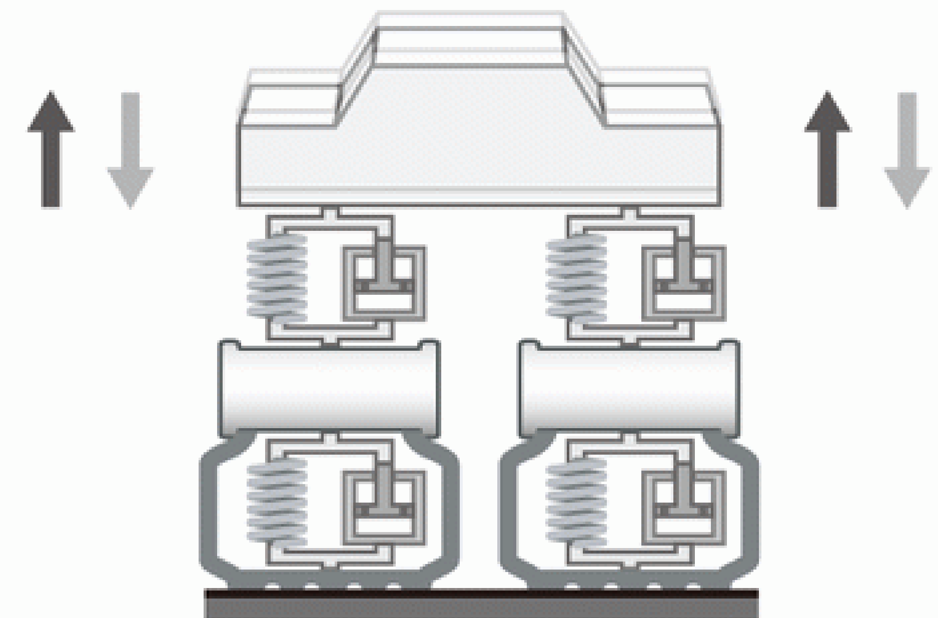
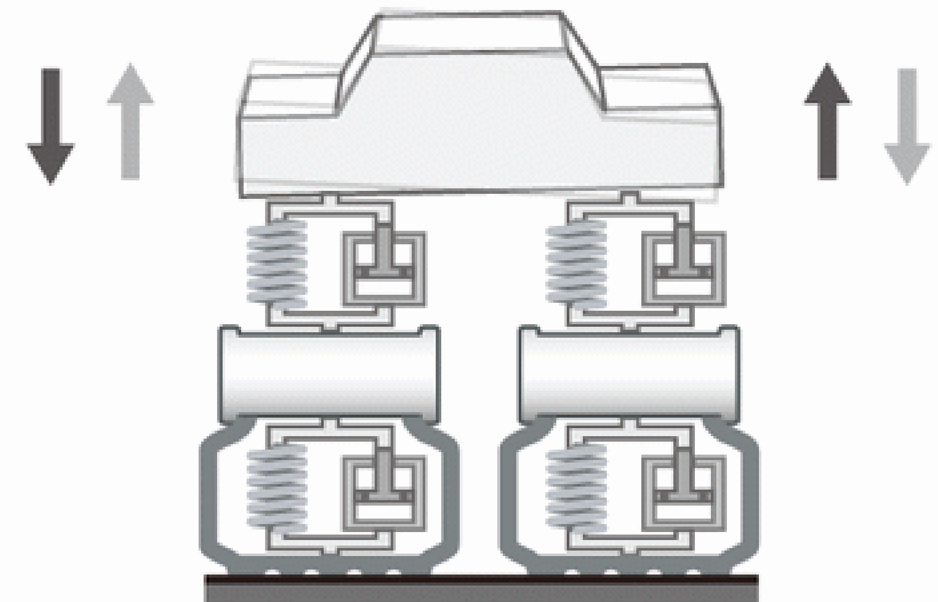


図2-6-2 車両の振動モード

1次共振：バウンスモード。前後のサスペンションが同じ方向に伸び縮みするので車体にはバウンシングが生じる



2次共振：ピッチングモード。前後のサスペンションがそれぞれ逆方向に伸び縮みするので車体にはピッチングが生じる



3次共振と4次共振：バネ下共振モード

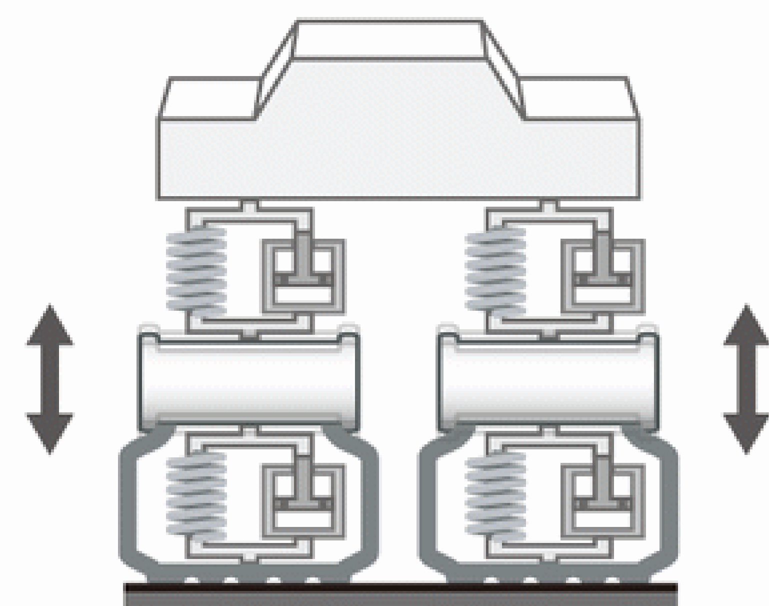
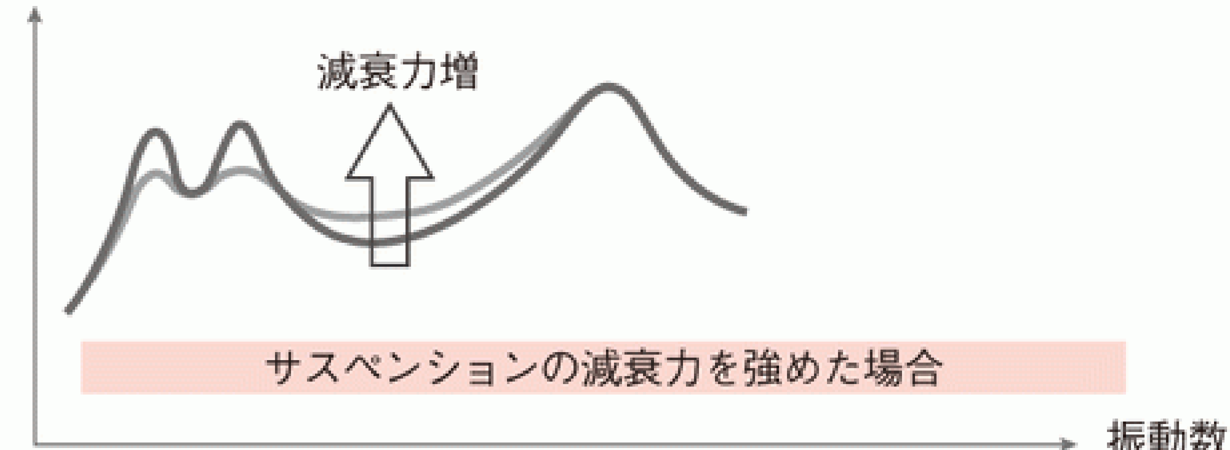
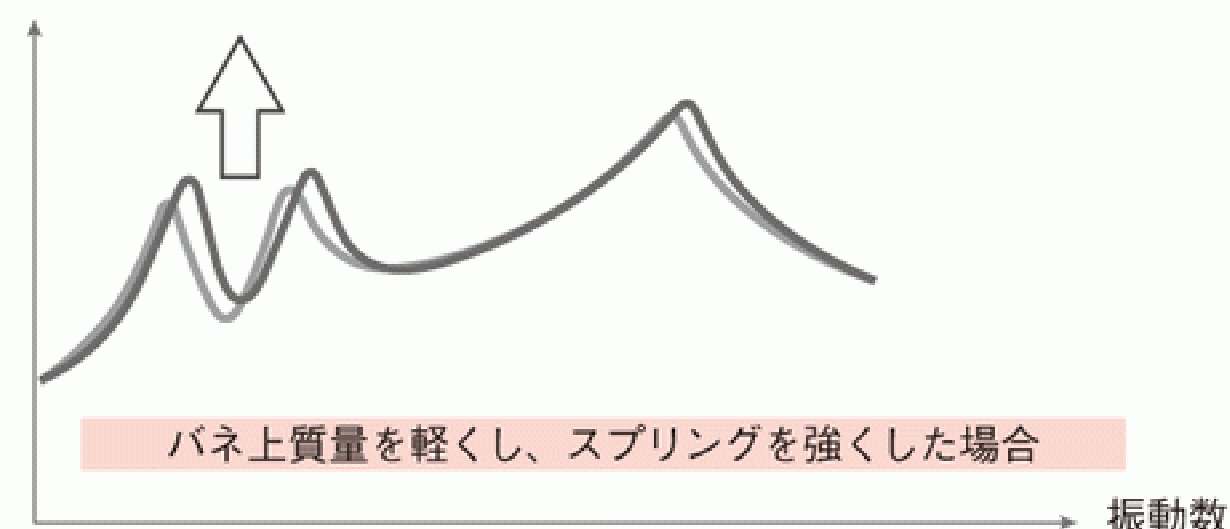
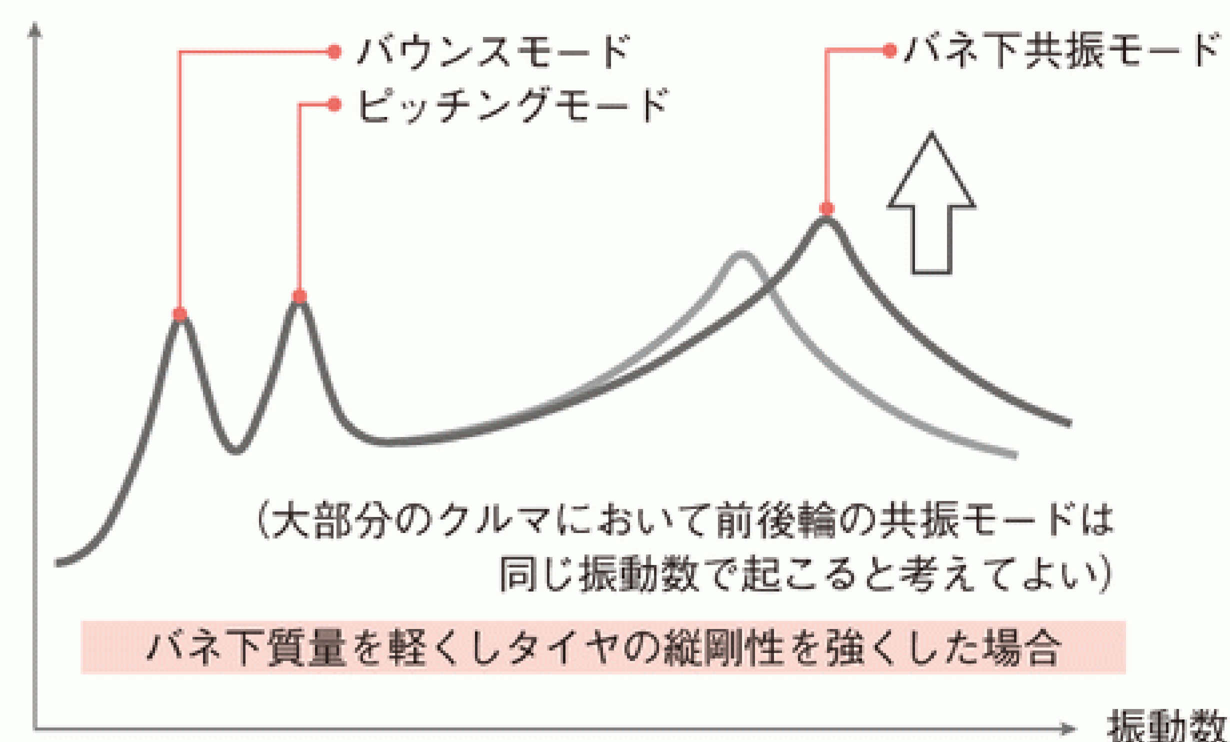


図2-6-3
サスペンション諸元の上下振動への影響







サスペンションのチューニングによる振動モードの変化

車体の共振はタイヤの接地性や乗り心地の悪化を招くので、できるだけ抑えなければならない。またバネ上質量の振動は車体の空力性能にも影響するため、特にレーシングカーにとっては重要な問題となる。

バネ上質量とバネ下質量の上下の振動には以下のような性質があるので、覚えておくとサスペンションのチューニングを行う上で役に立つはずである。

1. ダンパーの減衰力を強めると、バネ上質量の共振周波数付近での振動を抑える効果は大きいが、共振点以外の領域では振動は増加する。（図2-6-3上図）

2. ダンパーの減衰力を強めると、バネ上質量の共振周波数はやや高くなる。（図2-6-3上図）

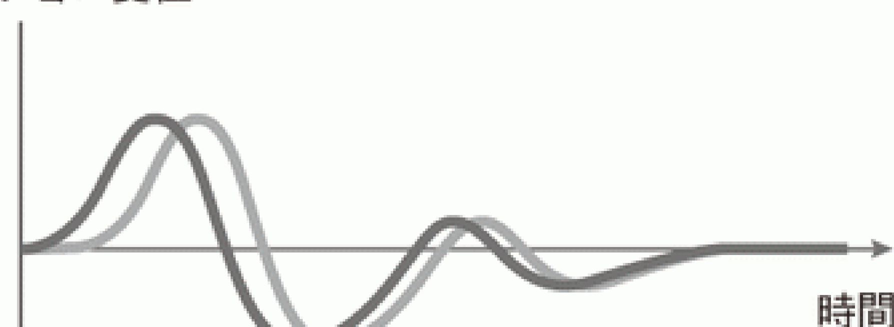
3. バネ上質量やスプリングの弾性を変更すると、バネ上共振は大きく変化するが、バネ下共振はあまり変化しない。（図2-6-3中図）

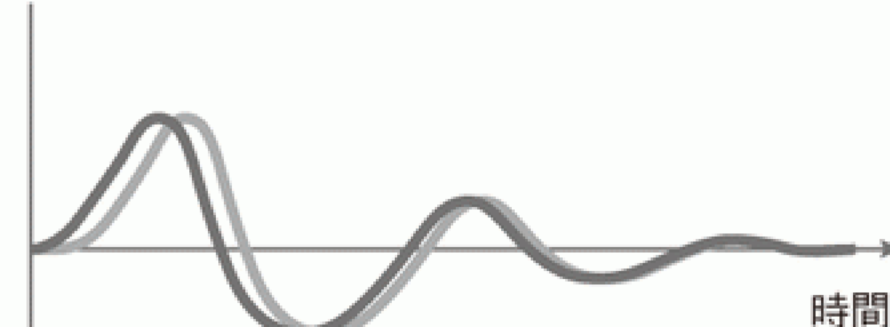
4. バネ下質量やタイヤの縦剛性を変更するとバネ下共振は大きく変化するが、バネ上の振動はあまり変化しない。（図2-6-3下図）

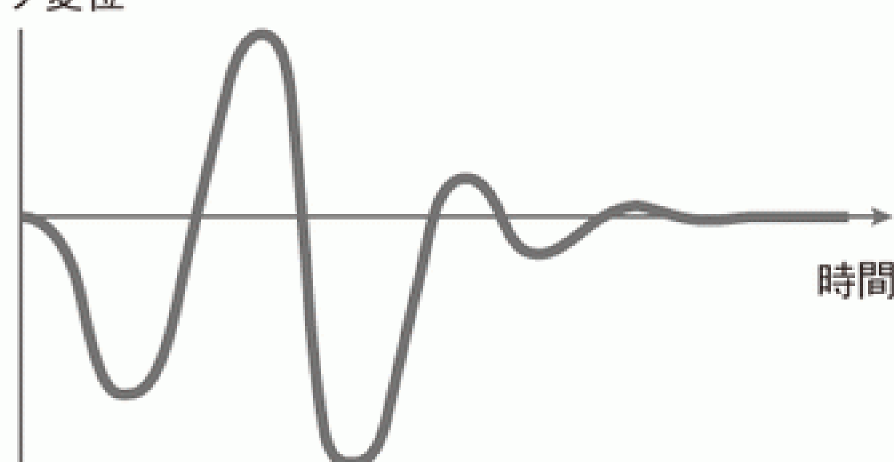
ピッチングの抑制

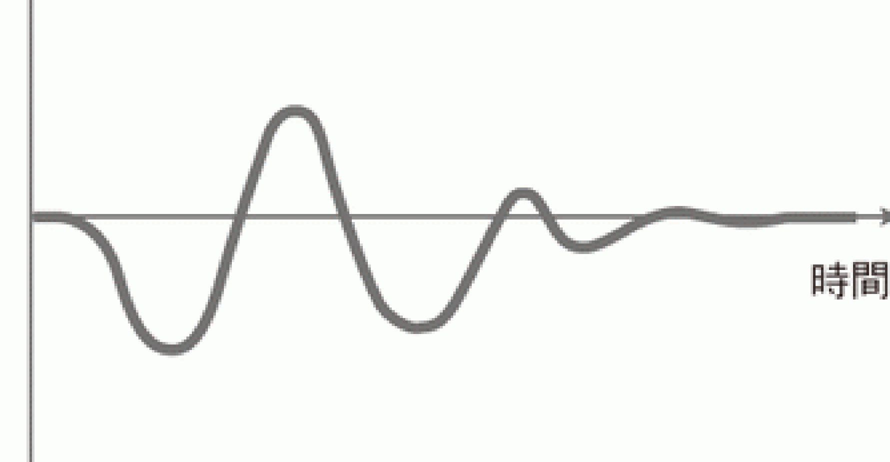
直進しているとき、路面からの後輪への入力は「ホイールベース÷車速」の時間分だけ遅れる。後輪のバネ上共振周波数を、前輪よりも少し高めに設定してやると、後輪の振動の収束が前輪の振動の収束に追いつき、ピッチングを抑制できる。

図2-6-4
ピッチング運動の抑制。リアのバネ上共振周波数を高くしたほうが、ピッチングが抑えられる点に注目しよう









2-7 運動性能の良い車両とは？

▶ 車両運動性能の要は後輪にある

ヨー角速度の共振周波数とステア特性

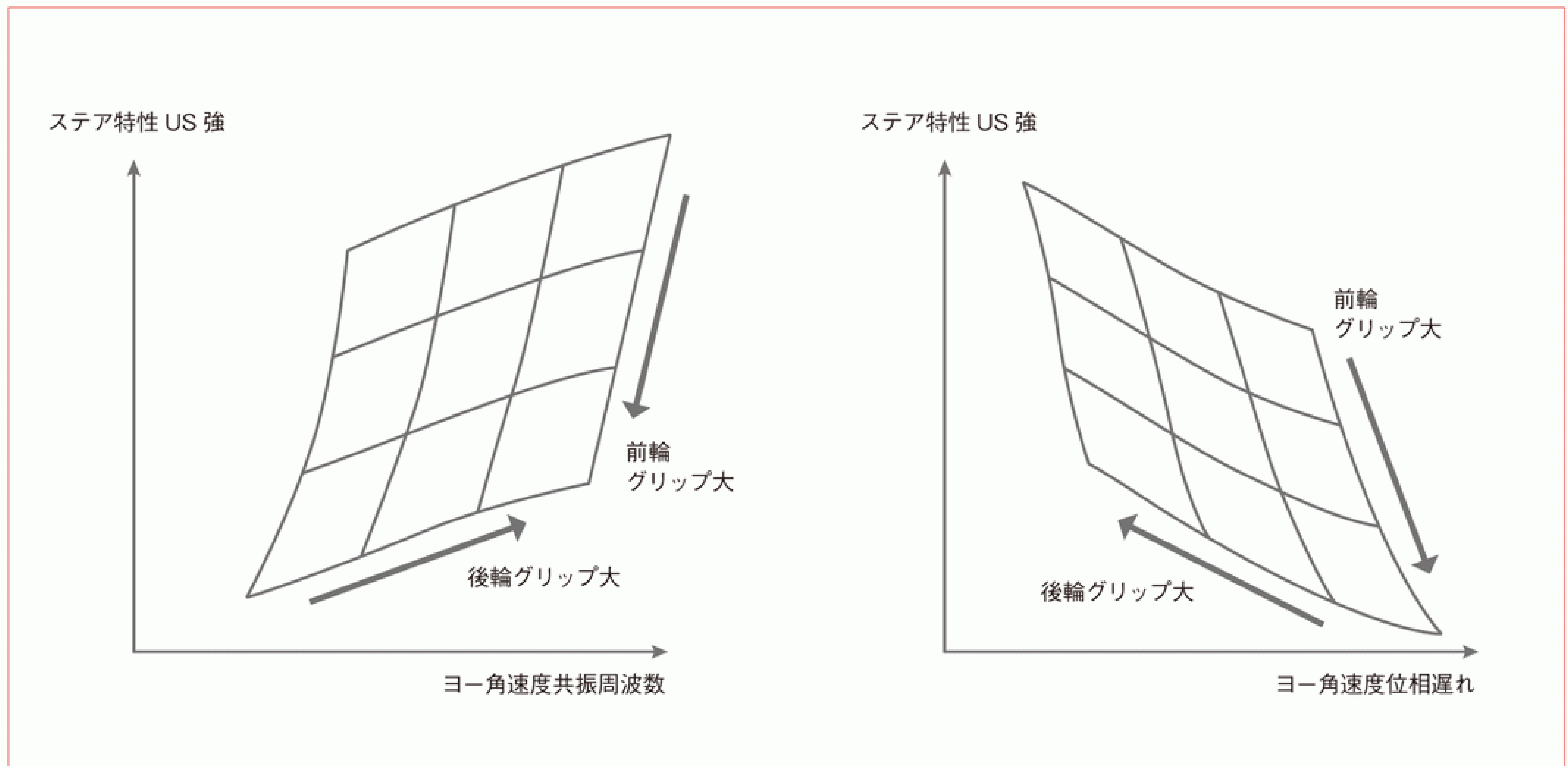
一般に、車両のヨー角速度の共振周波数が高いほど、車両はキビキビ動き性能の高い車両と考えられている。ヨー角速度の共振周波数を高めるには、後輪のコーナリングパワーを向上させる、車両の重量を軽くする、ヨー慣性半径を小さくするなどの手段がある。

図2-7-1は前後輪のグリップが車両の運動性能へ与える影響を定性的に表したものである。この図から、後輪のグリップを大きくすると、USが強くなり、ヨー角速度の共振周波数が高くなることが分かる。逆に前輪のグリップが増加するとヨー角速度の共振周波数は低くなり、OSが強くなる。

一方、位相差に着目すると、後輪のグリップを大きくするほど位相遅れは小さくなり、前輪のグリップを大きくするほど、位相遅れが大きくなることが分かる。

このように後輪のグリップレベルは車両の運動性能において重要である。したがって、サスペンションのチューニングを行う場合、後輪のグリップを十分確保したうえで、前後輪のグリップレベルを適正化することが、車両運動性能向上のための基本的な考え方であることがわかる。

図2-7-1 前後輪のグリップレベルと操舵応答性とステア特性の関係



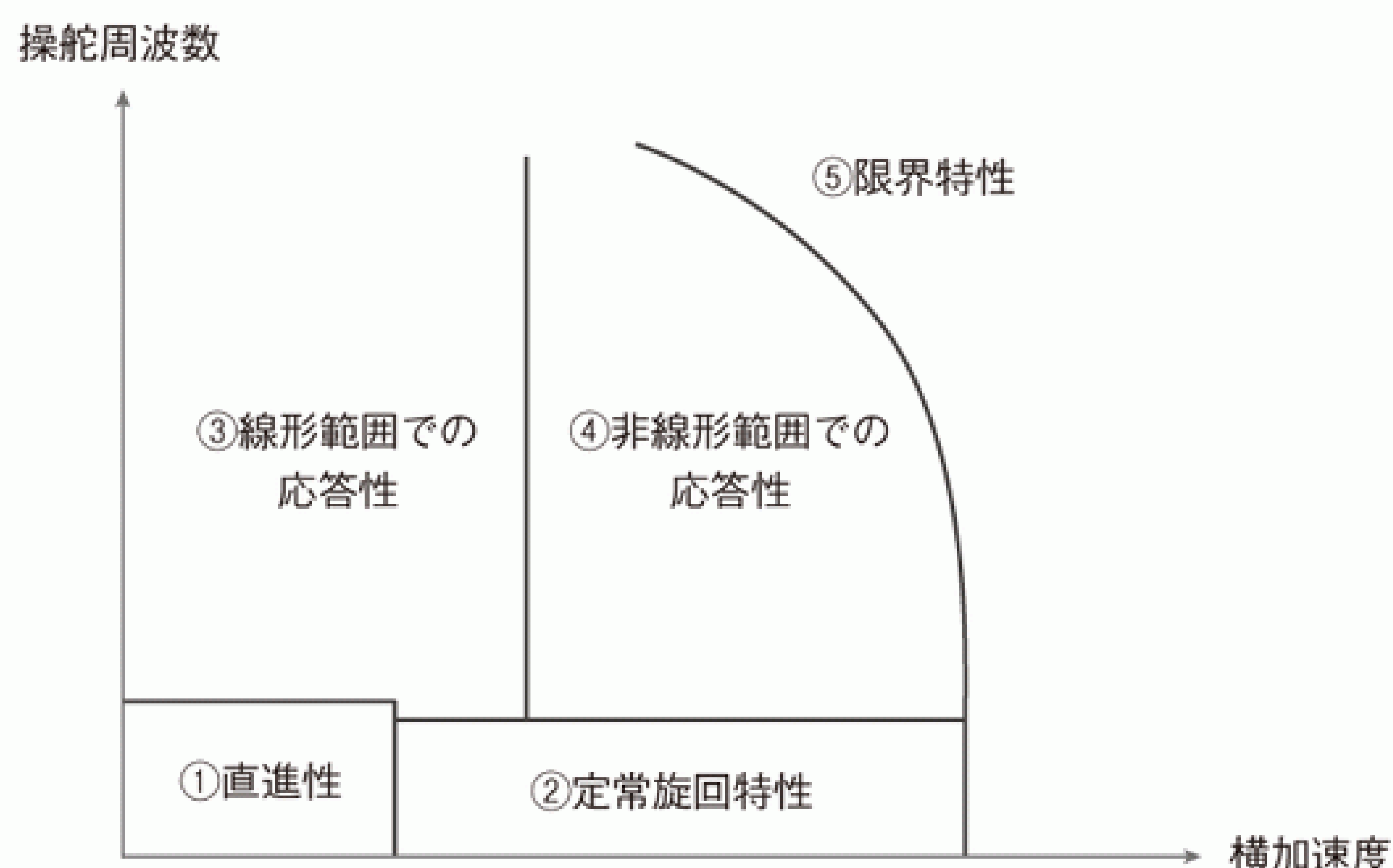
TIPS 車両のヨー慣性モーメントを形式的に$I=mK^2$とすると、ヨー慣性半径は$K=\sqrt{I/M}$と表すことができる。ここではIはヨー慣性モーメント、mは車両の質量である。

車両応答性の分類例

車両の運動性能は議論すべき範囲が広い。しかし、車両の運動そのものは運動方程式(1-1で説明したF=ma)により数学的に扱えるため、これまで見てきたように理論的取扱いにより体系化しやすい面がある。そこで、横加速度と操舵周波数にそって車両の運動特性を分類して整理してみると、図2-7-2のようになる。

本稿では②定常旋回特性と③線形範囲での応答性を中心に見てきた。ここで線形範囲とは、主にどのような走行状態においてもコーナリングパワーが一定であると仮定して考察を行った場合のことであると思ってよい。逆に、④の非線形範囲での応答性は主にコーナリングパワーが飽和する範囲での走行のことであり、レーシングカーにおいてはこの領域での性能が特に重要となる。しかし、非線形範囲といっても、基本はこれまで見てきた線形範囲の特性にあり、前後輪のコーナリングフォースの釣り合いや前後輪によるモーメントのつり合いなどを適切に考察すれば、線形範囲の応用として取り扱うことができる場合が多い。また、⑤限界特性の領域はもちろん原点から遠いほどよいといえる。

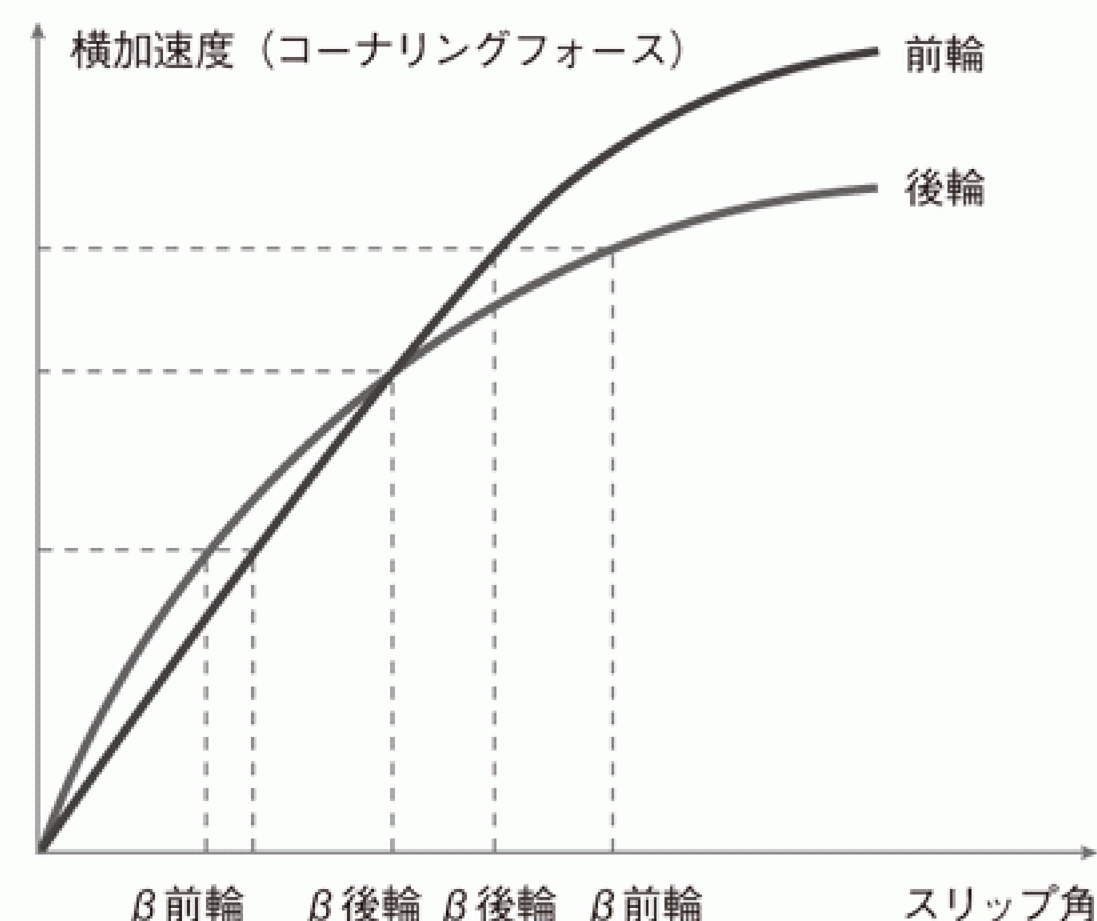
図2-7-2 車両の運動特性の分類



TIPS 非線形範囲の車両の運動として、典型的な例にリバースステアというものがある。1-2において、定常円旋回を行う車両は前後のスリップ角の大小関係からそのステア特性を判断できると説明したが、図2-7-3のような特性を示す車両を用いてリバースステアとはどのようなものかを考察してみよう。

このような特性の車両が定常円旋回を行う場合、横加速度が低いときには、前輪のスリップ角の方が大きく、US特性を示す車両であることがわかる。しかし、横加速度が大きくなるにしたがい、それと釣り合うためにタイヤは大きな力を発生させなければならないため、スリップ角が大きくなり、コーナリングフォースが飽和領域に入る。すると、ある程度横加速度が大きくなったところで、後輪のスリップ角の方が大きくなり、OS特性を示す車両となり、その挙動が不安定となってしまう。この例のように横加速度によってステア特性が逆転する特性をリバースステアと呼ぶことがある。

図2-7-3



3-1 温度と圧力

▶ 温度や圧力の正体は分子の運動である

現在では、熱や温度や圧力が分子の運動によるものであることは広く知られている。しかし、その説が有力となったのは19世紀後半であり、それが正しいと完全に認められたのは20世紀に入ってからである。

エンジンなどの機械の効率やエネルギー損失、後述する空気力学(流体力学)を正しく理解するためには、一度、温度や圧力に関する分子の運動を学んでおいた方がよい。ここでそれを理解しよう。

■ 密閉空間の中を無秩序に飛び回る分子の様子

ある容器に閉じ込めた気体を考えてみよう。マクロな人間の視点で見ると、この容器の中の気体には温度や圧力のむらはなく均一な状態であると考えてよい。このような状態を平衡状態と呼ぶ。

しかし、分子の動きを観測できるくらいミクロな視点で容器の中を観測すると、そこには無数の気体分子が無秩序に飛び回っているのがわかる。ある分子は非常にゆっくりとした速度で飛んでいるし、他のある分子は非常に速い速度で飛んでいる。そして、それらの分子同士はお互いに衝突しあい、ときに容器の壁にも衝突して、速度を変化させる。

図3-1-1 平衡状態にある容器の中の気体

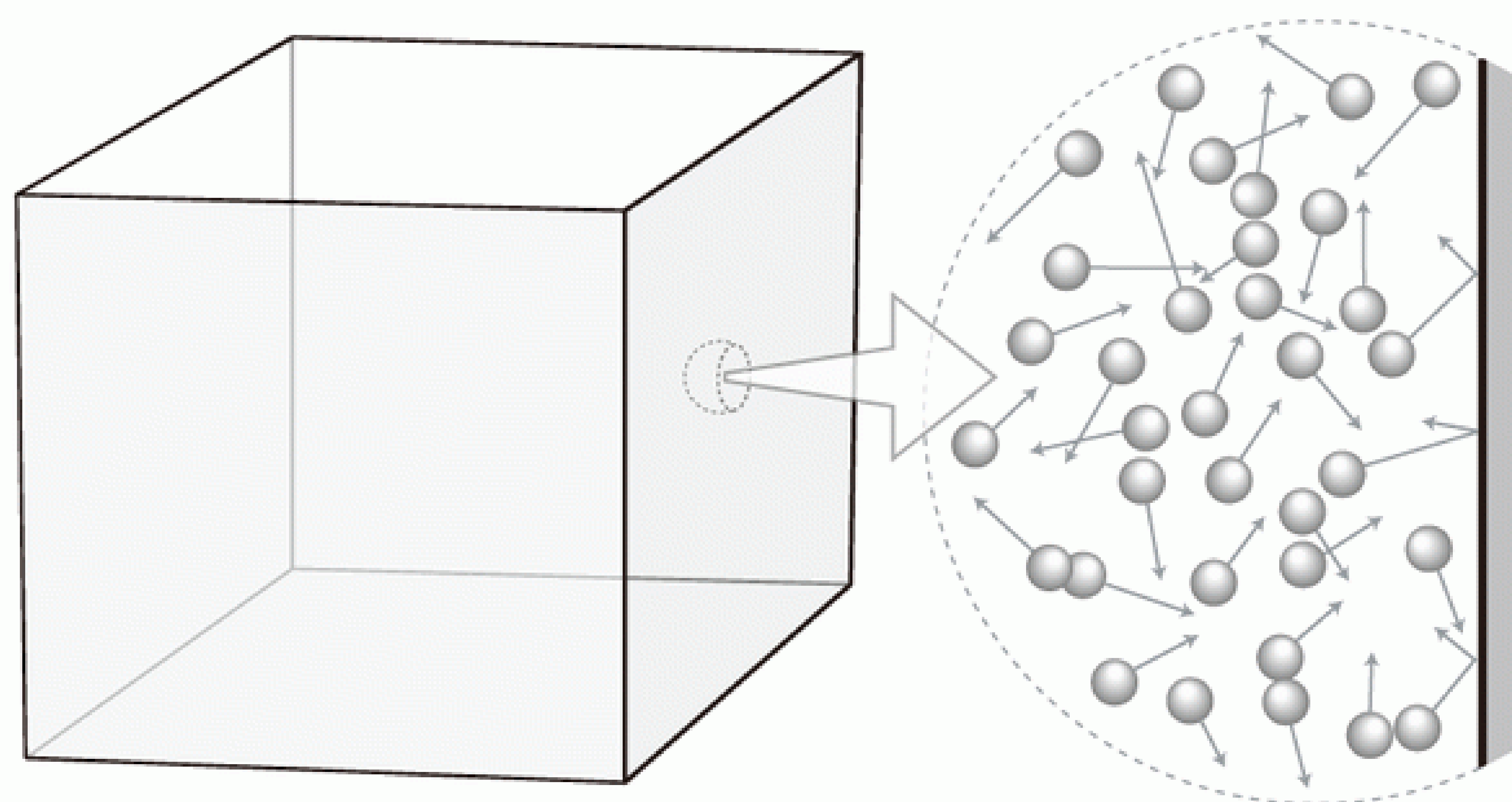
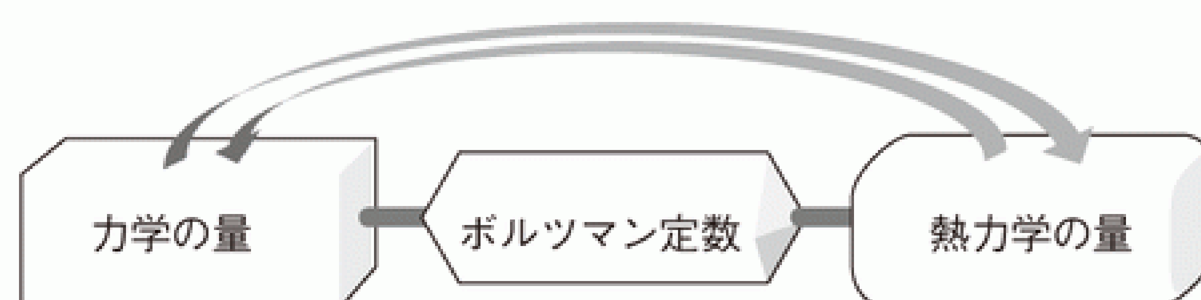


図3-1-2 ボルツマン定数が力学の量と熱力学の量を繋いでいる



温度とは分子1個当たりの平均運動エネルギーである

容器の中にはさまざまな速度を持った気体分子が無数に存在している。これをエネルギーの面から見ると、容器の中にはさまざまな運動エネルギーを持った気体分子が無数に存在している、と言える。実は、温度とは、このように無秩序に飛び回る分子の1個当たりの平均運動エネルギーに対応する量なのである。数学で表現すると次のようになる。

分子1個当たりの平均運動エネルギー= 3/2 kT

ここでTは絶対温度、kはボルツマン定数と呼ばれるもので、気体の温度、密度、圧力、量、種類に無関係な比例定数である。この数式では、分子の1個当たりの平均運動エネルギーという力学的な量と温度という熱的な量がイコールで結ばれているが、ボルツマン定数こそが、このように力学的な量と熱的な量を繋ぐ重要な役割を果しているのである。

圧力は飛び回る分子の衝撃力の平均値

もう一度図3-1-1を見てほしい。容器の壁には気体の分子が絶えず衝突している。それらは速度の速い分子もあれば、遅い分子もあるし、壁に垂直に衝突するものもあれば、斜めに衝突するものもある。したがって、それらの一つ一つの分子の衝撃力はみな異なる。

しかし、実は我々が圧力として観測しているのは、そのように飛び回る無数の分子の無秩序な運動による衝撃力の平均値なのである。ここで押さえておくべきことは、平衡状態において、このような分子の衝撃力の平均値は、どの方向から計測しても同じ値であり、計測する向きによって計測される圧力が異なるということはないということだ。つまり、容器の中に無数にある気体の分子は完全に無秩序に飛び回っているとはいえ、マクロな視点で見れば、結局はその衝撃力はどの方向にも均等に振り分けられているのである。

図3-1-3 圧力とは無数の分子の無秩序な運動による衝撃力の平均値である

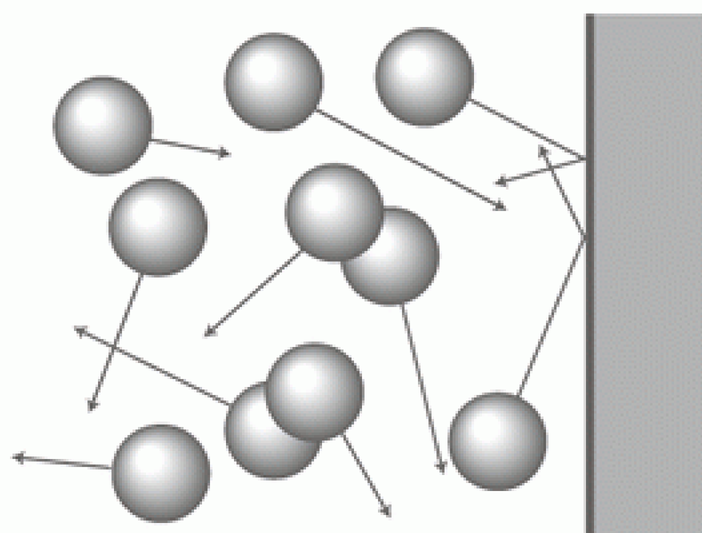
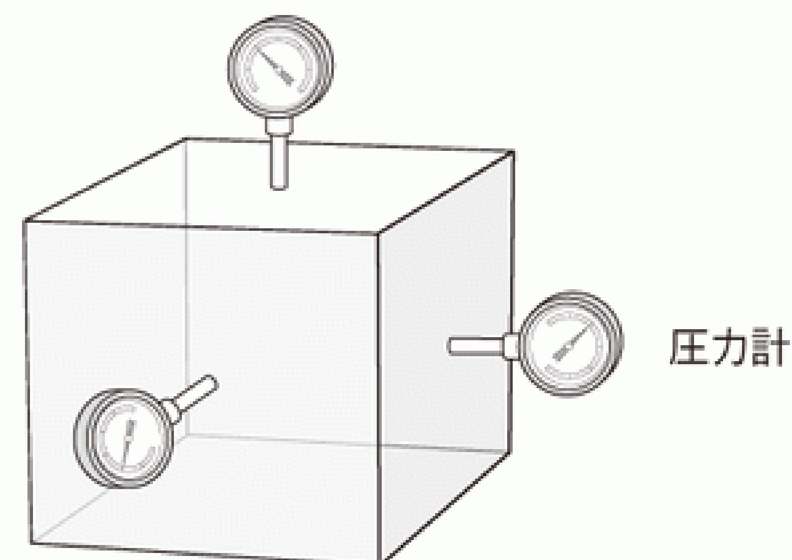


図3-1-4 衡状態において圧力はどの方向から計測しても同じ値となる



3-2 理想の熱機関とは

▶ 無駄な熱の移動をまったく起こさないカルノーサイクル

エンジンとは熱エネルギーから人間にとって都合の良い形式で力学的エネルギーを取り出す機関であるが、その効率とはどのように決定されるのであろうか、という疑問は当然起こってくる。歴史上、この問題の探求に実質的な一歩を踏み出したのがフランスのサディ・カルノーである。19世紀初期、カルノーは効率最大の理想的熱機関とはどのようなもので、その効率は如何に決まるのか、といったことを巧妙な論法を用いて明らかにした。彼の示した結論は以後熱機関の開発において重要な指針となった。



ニコラ・レオナール・サディ・カルノー（1796-1832）

カルノーが注目した2つの事実

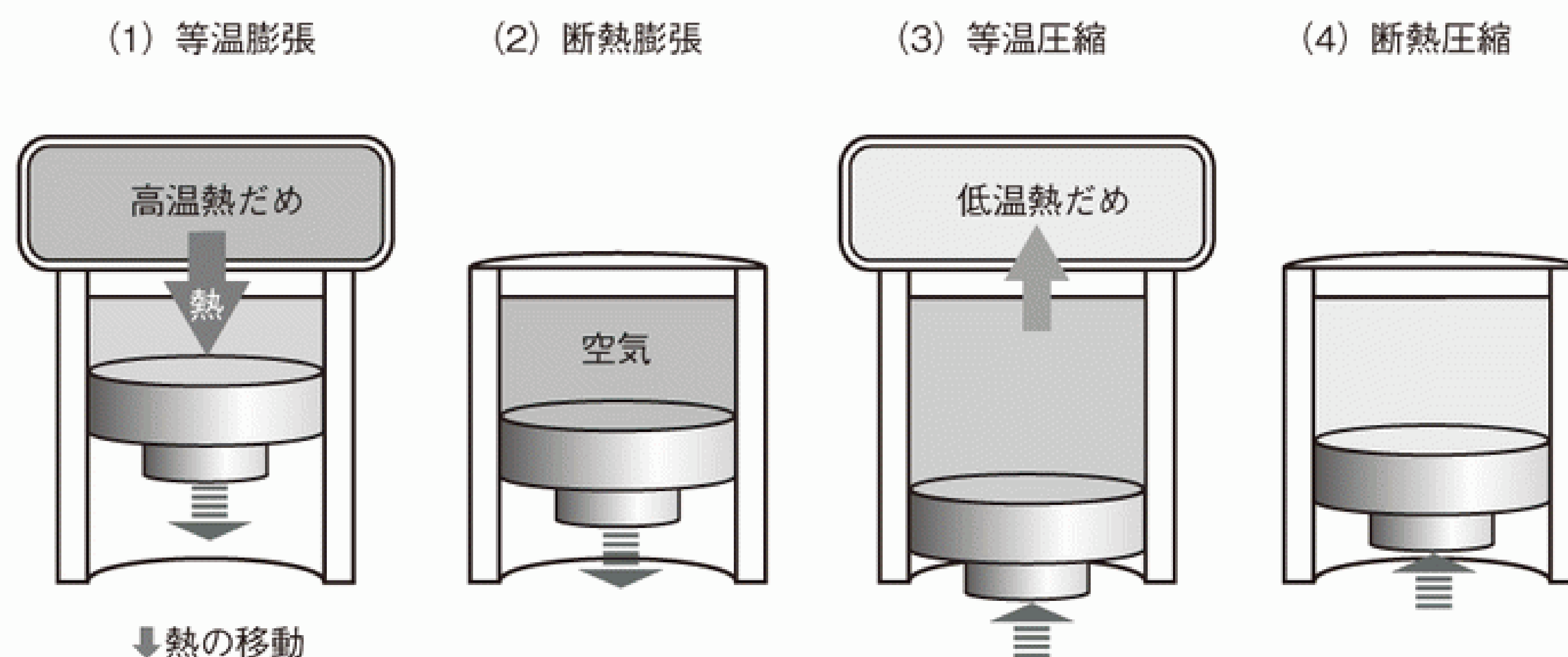
カルノーは理想の熱機関とはどのようなものかを考える上で、2つの熱の性質に着目した。

1つ目は、熱機関が仕事を行うには温度差が必要であるという事実である。温度差が存在しなければ熱の移動は起こらず、熱機関に仕事をさせることができない。ただし、もし仕事を取り出す上で必要のない温度差が熱機関内に存在すると、その温度差に任せて移動するだけで仕事をまったく行わない無駄な熱の移動が起こってしまう。したがって、カルノーは仕事を取り出すのに、熱の移動を温度差に頼ることのない熱機関こそが効率の良い熱機関であると考えた。

2つ目の着目点は、物体の体積や形の変化が行われるならば、そこに温度差がなくても熱は移動できるという事実である。これを等温変化と呼ぶ。カルノーはこの等温変化を活用すれば、温度差による熱の移動を起こさずに、仕事を取り出せるのではないかと考えた。

カルノーは以上のような準備的考察の上に立って思考実験を行い、温度差による不要な熱の移動が起こらない画期的な熱サイクルを考案した。

図3-2-1 カルノーサイクルの行程



カルノーサイクル

カルノーは熱の本質をよりはっきりと浮かび上がらせるために、高温と低温の熱だめと、空気を詰めたシリンダーとピストンからなる空気エンジンを仮想した。そしてシリンダーを熱だめに接触させ、そのときの熱の移動を考察し、理想の熱サイクルを考案した。彼の考え出した熱サイクルとは、図3-2-1、図3-2-2のようなものである。

（1）シリンダーを高温の熱だめに接触させ、熱を熱だめからシリンダー内の空気に移動させ、空気を膨張させる。ただし、ここで温度差が生じてはならないから、空気は熱だめと同じ温度を保たなくてはいけない。また、空気自体の中でも温度のむらを作ってはいけない。したがって、それを実現するためには、空気は非常にゆっくりとした速さでじわじわと膨張させなければならないことになる。このように温度一定で気体を膨張させたり、逆に圧縮することが等温変化である。

（2）次に、このように膨張させたシリンダーを低温の熱だめに接触させなければならないが、どうしてもそこには温度差が生じてしまう。そこで、カルノーは熱の移動がなくても気体を圧縮すれば温度は上がり、逆に熱の移動がなくても膨張させれば温度が下がるという、断熱変化と呼ばれる現象を利用した。つまり、高温の熱だめによって膨張させた気体をさらに断熱変化によって膨張させ、熱の移動なしに気体の温度を下げればよいと気づいたのである。ただし、この過程でもじわじわと非常にゆっくりとピストンを動かしてやらねばならない。

（3）こうして、空気の温度が低温の熱だめと同じ温度まで下がったら、シリンダーを低温熱だめに接触させることにより、気体の中の熱を低温の熱だめに移動させながら気体を圧縮する。繰り返しになるが、このときももちろん温度差を作ってはいけないので、等温変化でじわじわとゆっくり熱を移動させる。

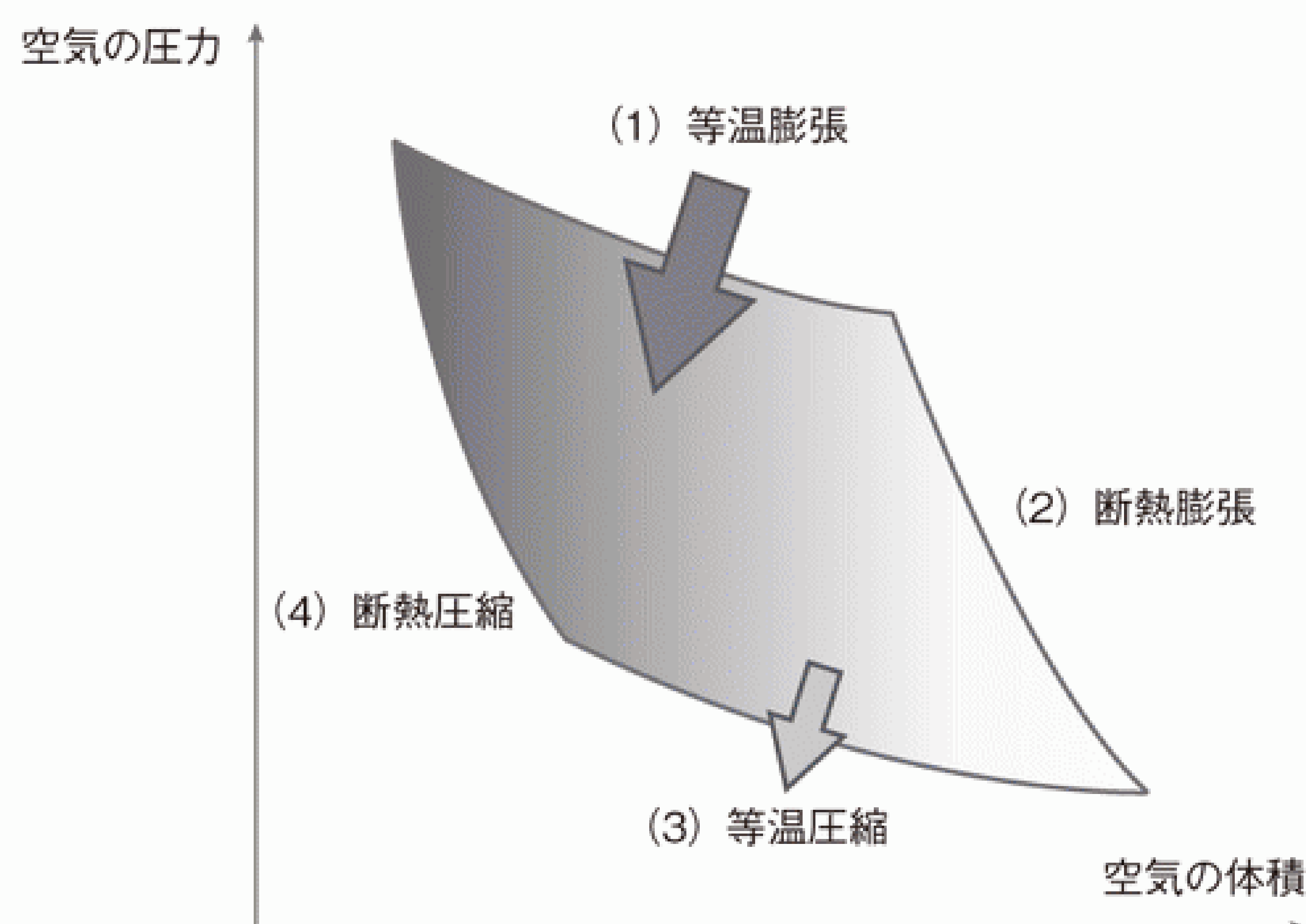
（4）等温変化が終わると、今度は断熱変化によって空気を圧縮して温度を上げていく。そして、高温の熱だめの温度になるまで圧縮できたら、再び（1）の等温膨張を行い、同じ過程を繰り返す。

以上のように、（1）高温熱だめでの等温膨張、（2）断熱膨張とそれによる温度の低下、（3）低温熱だめでの等温圧縮、（4）断熱圧縮とそれによる温度の上昇、という4つの過程を一回りすると、シリンダー内の空気は初めとまったく同じ状態に戻り、無駄な熱の移動をまったく起こさずに熱を仕事に変換できることになる。以上の熱サイクルはこれを考案したカルノーにちなんでカルノーサイクルと呼ばれている。

カルノーが没してからおよそ50年後、ガソリンエンジンを積む初めての自動車が誕生する。写真はカール・ベンツが作った３輪自動車



図3-2-2 カルノーサイクルにおける空気の圧力と体積の変化



3-3 カルノーの結論

▶ 熱機関の驚くべき抽象化

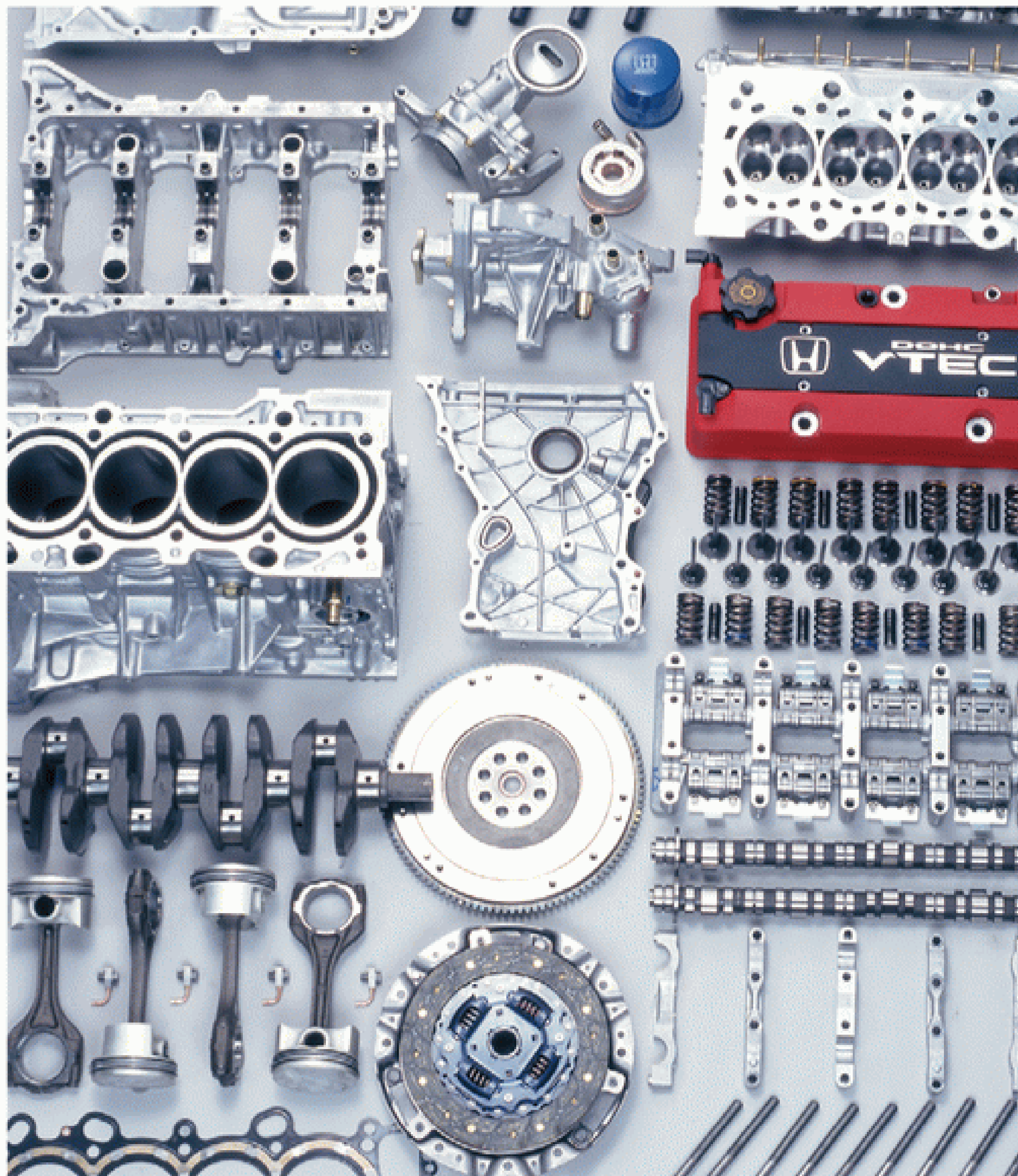
カルノーサイクルの理論効率

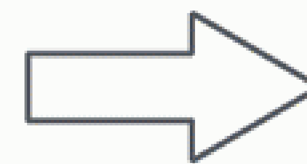
カルノーサイクルが熱機関の最高効率を実現する熱サイクルであることは直感的に理解できると思う。しかし、カルノーが卓越していたのは、後で少し触れることになるが、巧妙な論法を用いて、シリンダー内で温度差のある物体同士の接触がまったく存在しないという自身の考案した熱サイクルが最高効率の熱機関であり、これを超える熱機関は存在しないことを論理的に証明したことである。

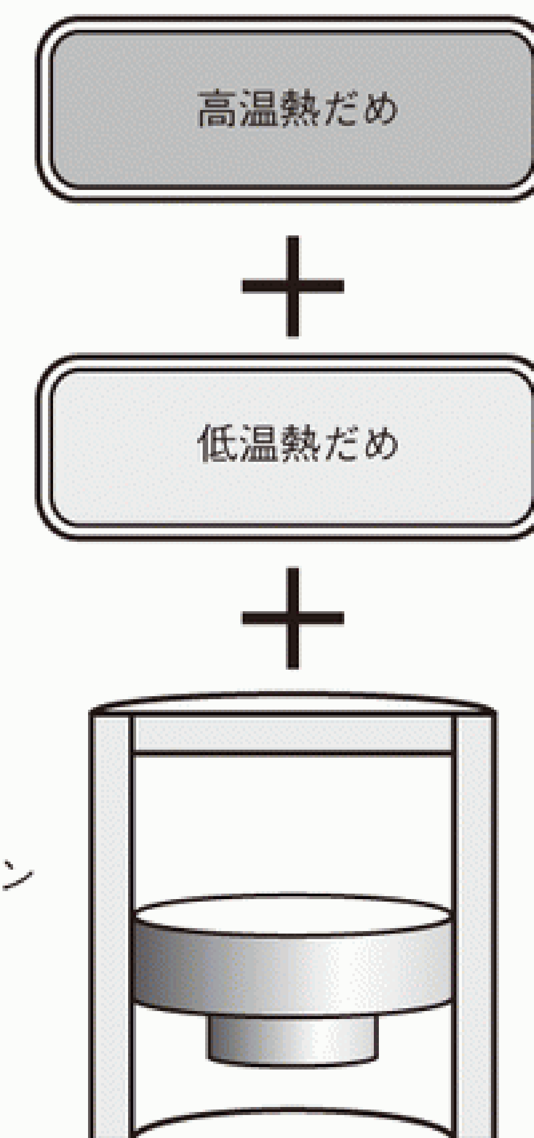
さらに驚くことに、カルノーはこの熱サイクルの理論効率は、高温熱だめと低温熱だめの温度のみによって決まると結論づけた。カルノー自身はこの理論の定式化を行わなかったものの、後にイギリスのウィリアム・トムソンにより次の数学的表現をもった。

$$\text{カルノーサイクルの理論効率} = 1 - \frac{\text{低温熱だめの絶対温度}}{\text{高温熱だめの絶対温度}}$$

図3-3-1 カルノーは多数の要素から成る複雑な熱機関から熱と動力に関する本質的な部分だけを的確に拾い上げ、熱機関を抽象化した。





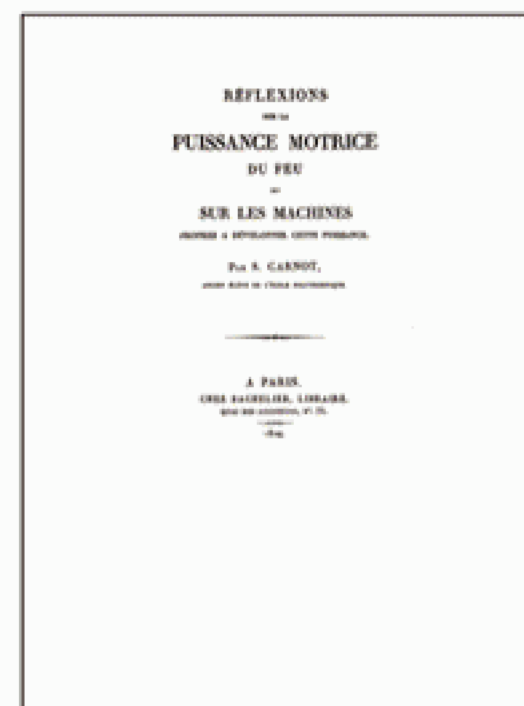


熱機関の究極的抽象化

カルノーサイクルの理論効率は熱だめの温度のみによって決まると結論づけられたが、カルノーの導いたこの結論は、さらに非常に画期的なことを明らかにしている。それは、カルノーサイクルの理論効率は、左式が示す通り、高温と低温の熱だめの温度だけで決まり、機関の具体的な構造や、空気や蒸気といった作業物質の特性にはまったく関係ない。つまり、カルノーサイクルの理論効率は、その機関の作られ方には無関係であり、自然そのものの性質によって決まる、という驚くべき事実が明らかとなったのである。

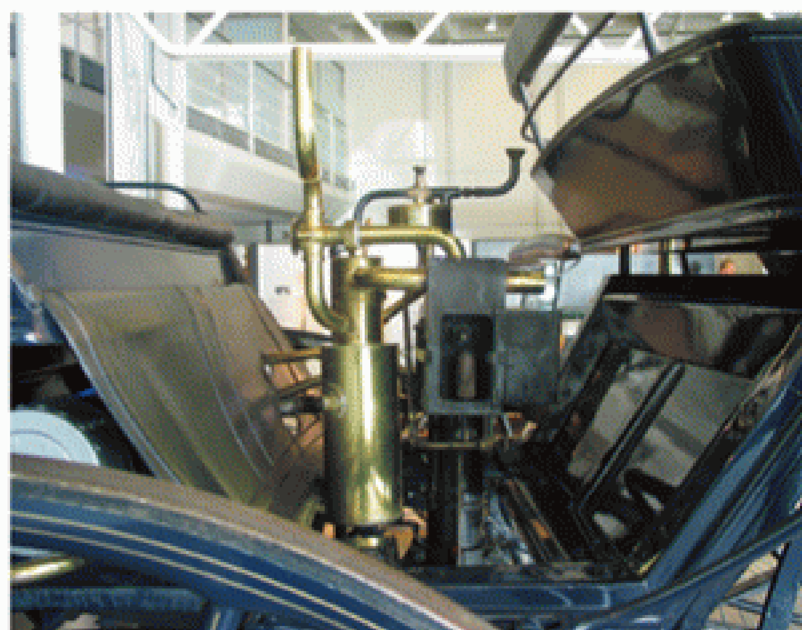
以上のように、カルノーが熱機関という多数の要素から成る複雑な機械装置から熱と動力に関する本質の部分だけを的確に拾い上げ、熱機関の抽象化を行ったことは特筆すべきことだ。そこには不必要なものは何もなく、不可欠なものも何一つ見逃されておらず、究極の抽象化と言えそうである。

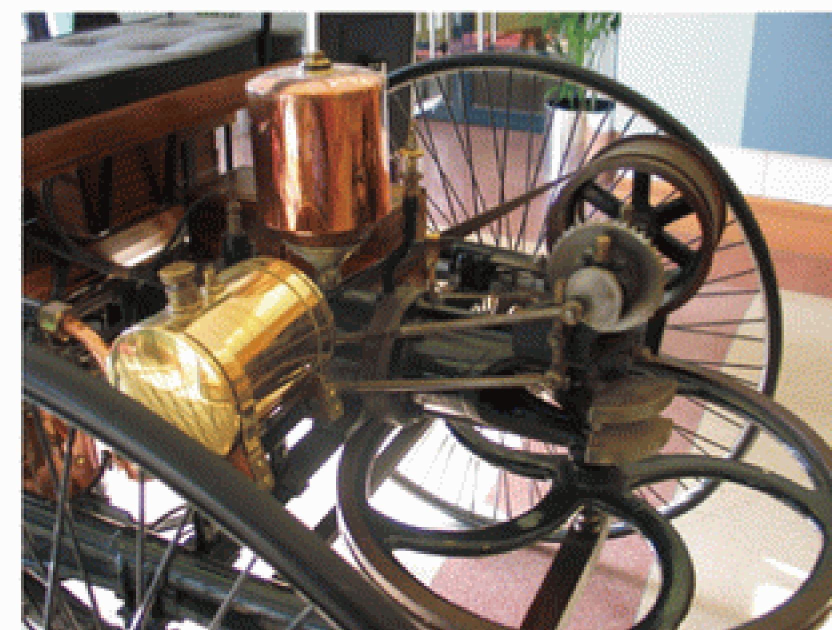
TIPS カルノーは1824年『火の動力についての省察』と題した一篇の技術論文を発表し、ここでカルノーサイクルについて述べた。彼がこれを著した動機は、蒸気機関の改良という工学的課題にあった。当時、蒸気機関は広く使われ、さらに改良が積み重ねられており、この論文が発表される５年前には蒸気船による大西洋横断がすでに成功していた。しかし、蒸気機関に関する科学的理論はほとんど何も考えられておらず、機関を改良する試みは、職人たちの経験と勘に頼っている場合が非常に多かった。そこで、カルノーは機関の構造やメカニズムや作業物質などに関係のない、自然の本性に根差した熱機関の特性とは何かを探求することにしたのである。しかしこうして発表されたカルノーの『省察』は、その重要性をすぐには気づかれなかった。しかも、不幸なことに1832年、彼はコレラの流行の研究をしているさなか、自分がコレラに冒され、その後数時間のうちに36歳の若さで亡くなった。コレラの犠牲者が出た場合の通常の対処法として、彼の研究成果や書物のほとんどは本人の死とともに破棄されてしまった。しかし、彼の死後、エコール・ポリテクニック時代の同級生クラペイロンによってカルノーの『省察』は補強され、世に知られるようになり、やがて熱力学や統計力学という物理学の新たな分野の開拓および構築に大きく貢献することとなった


RÉFLEXIONS
PUISSANCE MOTRICE
DU FEU
SUR LES MACHINES
Par S. CARNOT,
A PARIS.

TIPS 絶対温度を理論的に定義したのは、カルノーサイクルの理論効率を定式化したトムソンである。実は彼はカルノーサイクルの理論効率を導出する過程で絶対温度を理論的に定義したのである。


ゴットリープ・ダイムラーが1886年に生み出した４輪自動車


ダイムラーの４輪自動車に積まれたガソリンエンジン。排気量は462cc、680rpmで1.1psを発生した


こちらは前項に掲載したカール・ベンツの３輪自動車のエンジン部分。ダイムラーのエンジンがシリンダーを縦置きしたのに対しこちらは横置きだった。排気量は984cc、400rpmで0.96psを発生した

3-4 自動車エンジンの理論効率

▶ オットーサイクル、ディーゼルサイクルの理論効率とは

オットーサイクルの理論効率

理想の熱機関が分かったところで、一般的な自動車エンジンに目を向けてみよう。

現在のガソリンエンジンは、ニコラス・オットーが考案した４ストロークサイクルであるオットーサイクルが基本となっている。オットーサイクルは(1)断熱圧縮、(2)定容加熱、(3)断熱膨張、(4) 定容冷却、という４つの過程から成り立つ。定容加熱、定容冷却とは、シリンダーの容積を変化させずにシリンダー内の作業物質を加熱、冷却することである。

カルノーサイクルと同様に、高温と低温の熱だめによって作動する空気エンジンを用意し、じわじわと非常にゆっくりとした速度でピストンを動かしてやれば、オットーサイクルの最大効率がどのように達成されるのかが分かる。ところが、オットーサイクルでは、(2) と(4) の定容過程における温度差が避けられない。温度差がなければ、高温の熱だめから空気へ、あるいは空気から低温の熱だめへの熱の移動が起こらないからである。したがって、オットーサイクルの理論効率は、この温度差による熱の移動分だけ、カルノーサイクルより落ちてしまう。

オットーサイクルの理論熱効率は、

$$\text{オットーサイクルの理論効率} = 1 - \frac{1}{\text{圧縮比}^{\text{比熱比}-1}}$$

という数式で表される。この式からわかるように、残念ながらオットーサイクルの理論効率はカルノーサイクルとは異なり、圧縮比や比熱比といった、エンジンの機構や作業物質の特性が関係する。しかし、そうは言っても、どのようなメカニズムで圧縮を行うべきかといったことや、具体的にどの作業物質を用いるべきかについての制限は一切ない。多数の要素から成る複雑な機構を持つエンジンが、圧縮比と比熱比のたった二つの量でその理論効率が決定されるのである。

図3-4-1 オットーサイクルの行程

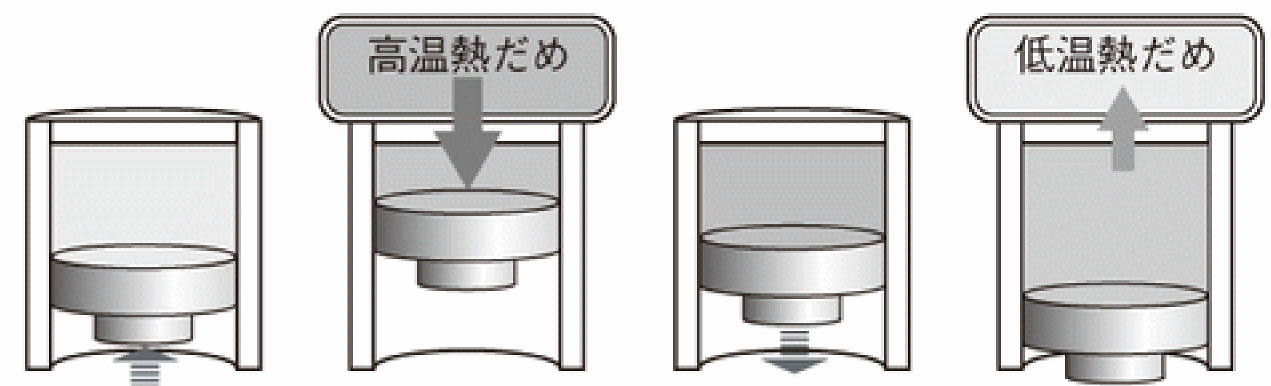
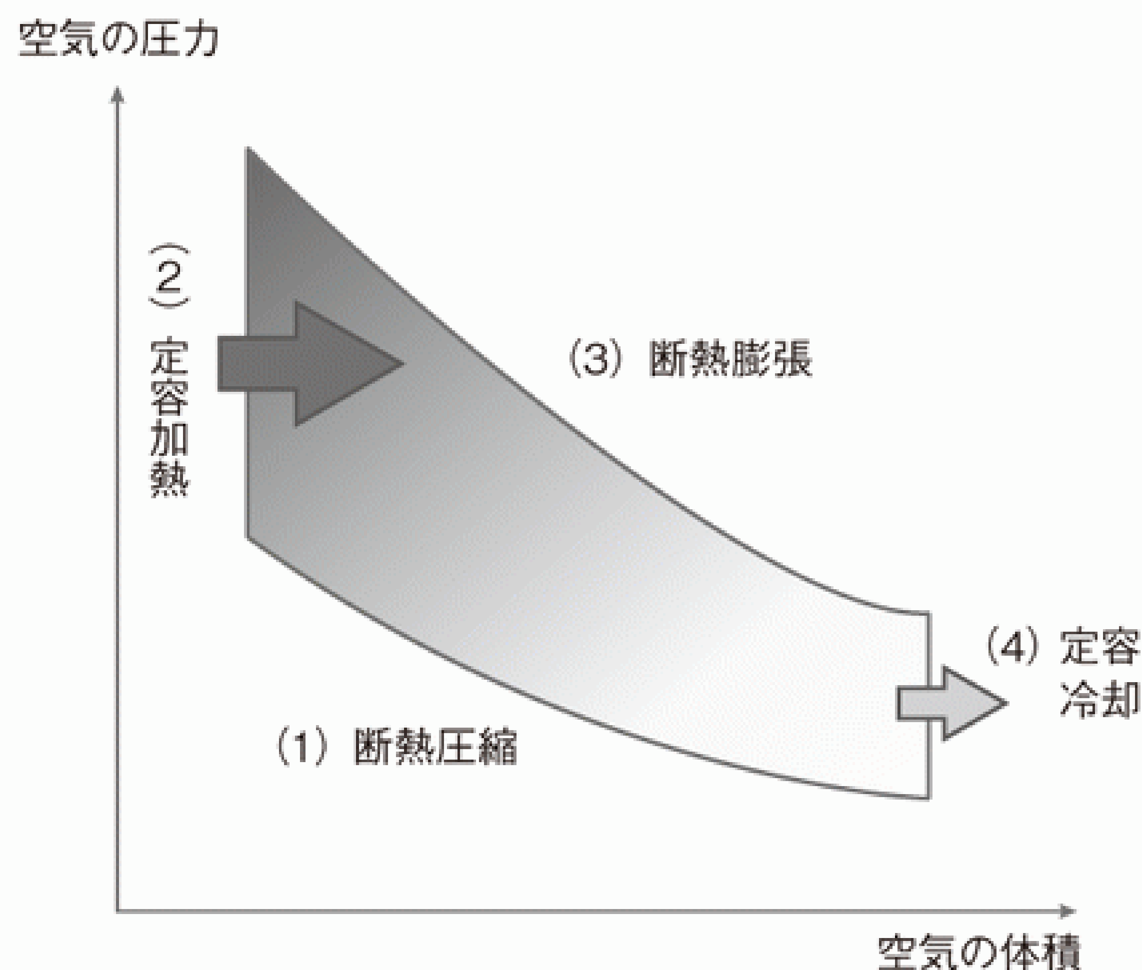


図3-4-2 オットーサイクルにおける空気の圧力と体積の変化



オットーサイクルの例。BMW製ツインパワーターボV8ガソリンエンジン



TIPS ハイブリッド車などによく用いられるアトキンソンサイクルの熱サイクルは、オットーサイクルと同じである。3-7のTips!も参照してほしい。

ディーゼルサイクルの理論効率

ディーゼルサイクルはルドルフ=ディーゼルによって考案されたディーゼルエンジンの熱サイクルである。ディーゼルサイクルは主に(1)断熱圧縮、(2)定圧加熱、(3)断熱膨張、(4)定容冷却、という4つの過程から成り立つ。ここで、定圧加熱とは、空気の圧力を変化させずに、シリンダ内の作業物質を加熱することである。

図3-4-3 ディーゼルサイクルの行程

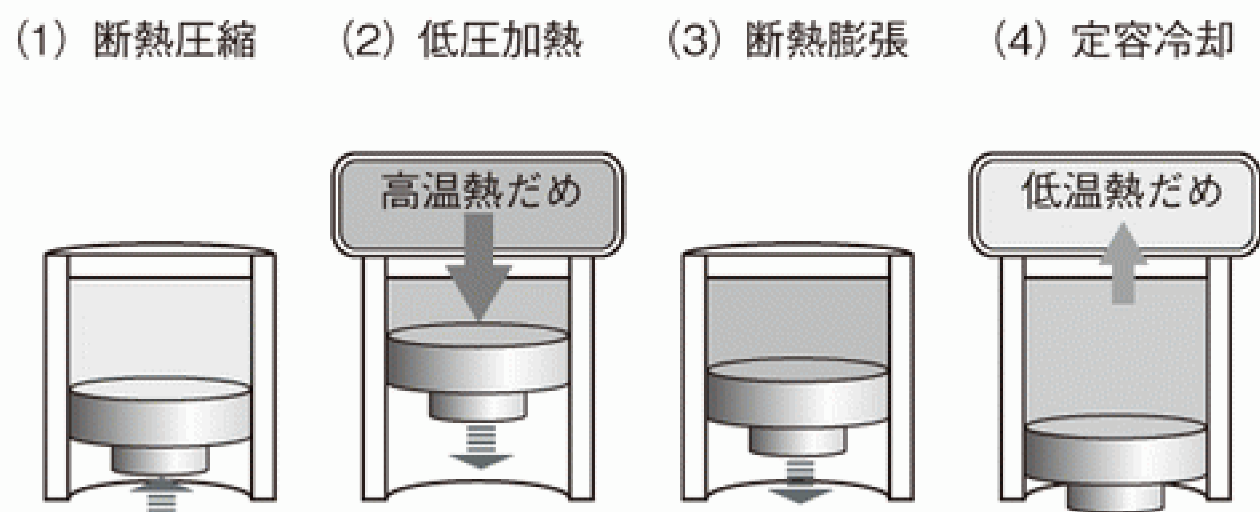
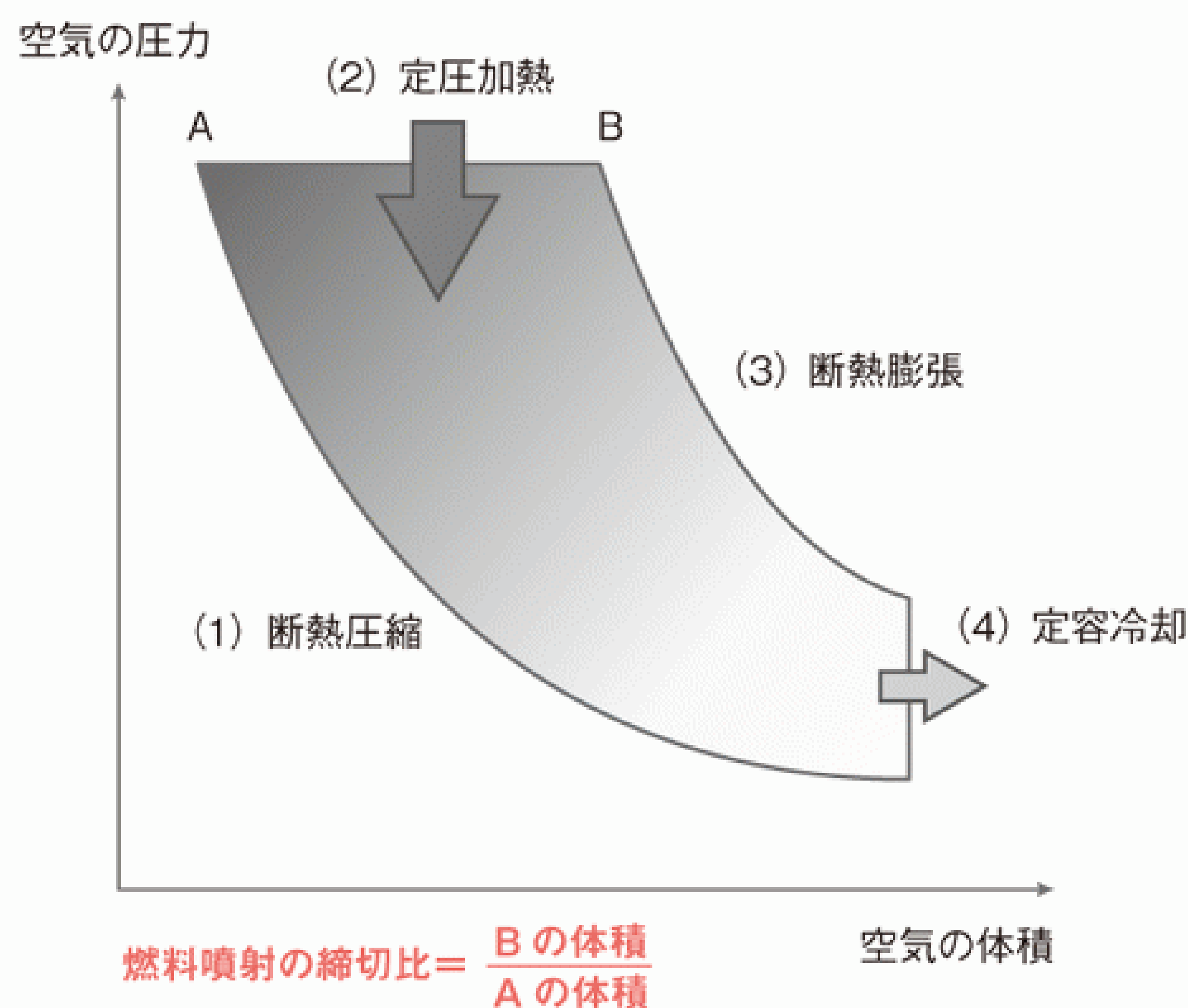


図3-4-4 ディーゼルサイクルにおける空気の圧力と体積の変化



ディーゼルサイクルの理論熱効率は、

$$\text{ディーゼルサイクルの理論効率} = 1 - \frac{1}{\text{圧縮比}^{\text{比熱比}-1}} \cdot \frac{\text{燃料噴射の締切比}^{\text{比熱比}} - 1}{\text{比熱比}(\text{燃料噴射の締切比} - 1)}$$

であり、これも圧縮比、比熱比、燃料噴射の締切比という、たった3つの量から決定される。

ディーゼルサイクルの最大効率を達成するためには、ここでもすべての過程をじわじわと非常にゆっくりとした速度でピストンを動かしてやらなければならない。しかし、(2)と(4)の定圧過程においてどうしても熱の移動が起きてしまう。したがって、この熱の移動分だけカルノーサイクルよりも効率は落ちてしまう。



ディーゼルサイクルの例。マツダ製2.2リッターディーゼルエンジン

カルノーサイクル、オットーサイクル、ディーゼルサイクル、そのいずれでも実際には理論効率を達成する熱機関を作ることはできない。そもそも非常にゆっくりとしたピストンの移動では、実質的な利用価値は生まれない。また、ピストンやシリンダーを完全に断熱することはできないし、そこでは温度差に起因する無駄な熱の移動が起きる上、ピストンとシリンダーの間の摩擦も完全になくすことはできない。しかし理論効率を明らかにすることで、その熱機関の本質を浮かび上がらせ、エンジニアに重要な指針を与えることが可能になる。

3-5 可逆変化と不可逆変化

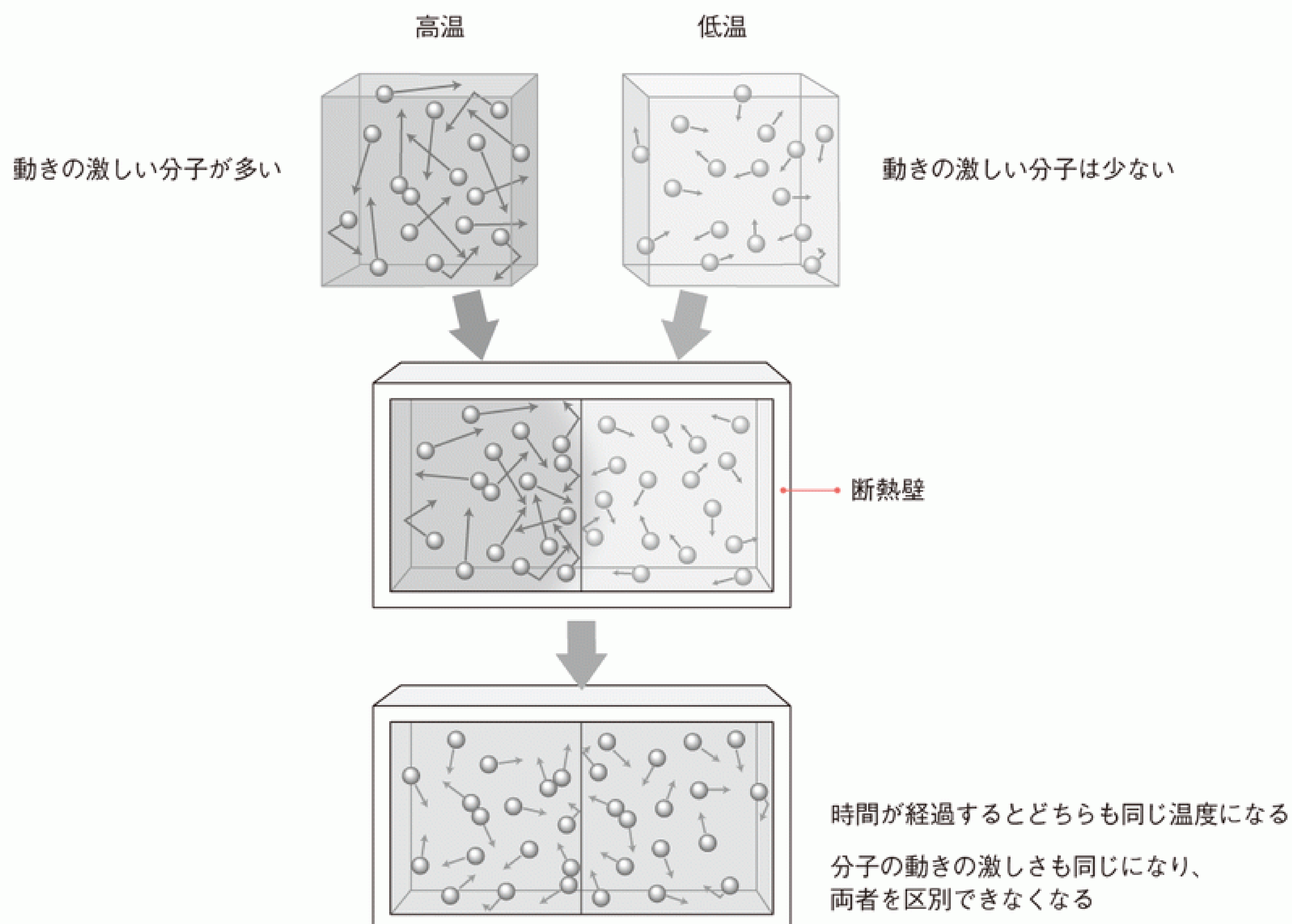
▶ 自然の変化には「向き」がある

ここからは、これまでの議論をもとに、実際のエンジンがどうしても起こしてしまうエネルギー損失について考察していくことにする。ただし具体的な話に入る前に、一つ重要な自然法則について解説しておこう。

自然は「秩序」から「無秩序」へと変化する

再び、容器に閉じ込めた気体分子の運動を見てみよう。しかし今回は高温と低温の気体を閉じ込めた二つの容器を用意する。温度の異なるこれらの容器を接触させると、熱が高温の容器から低温の容器に移動する。そのまま放置すると、やがてどちらの容器も同じ温度となるので、熱の移動はなくなり、平衡状態に落ち着く。これをミクロな視点で見ると、最初の状態では、高温の容器には激しく飛び回る分子が比較的多く入っており、低温の容器には激しく飛び回る分子が比較的少なかったことになる。それらの容器を接触させたときには、高温の容器内の分子の運動エネルギーが低温の容器に移動し、低温の容器内の分子の運動エネルギーを増大させることになる。そして、両方の容器の分子の1個当たりの平均運動エネルギー（つまり温度）が等しくなったところで、運動エネルギー（熱エネルギー）の移動はなくなる。

図3-5-1　温度の異なる二つの容器の接触



「無秩序」から「秩序」への変化は起こらない

さらに見方を変えてみよう。この例では、最初に高い運動エネルギーの分子と低い運動エネルギーの分子が異なる容器に分けられており、高温の容器内の分子の運動と低温の容器内の分子の運動は区別できた。あえて言うならば、容器内の違いを判別できるほどの「秩序」があり、その違いを区別できるほどの整理された情報がそこにあったと言える。しかし、平衡状態になった後は、両者の間にある違いを判別できるような情報はなくなり、いわゆる「無秩序」な状態となった、ということになる。

実は、このように「秩序」のある状態から「無秩序」な状態への変化は自然にとって自然な変化であり、その逆の「無秩序」から「秩序」への変化は自然には起こらない。たとえば、高温の容器と低温の容器を接触させたとき、高温の容器は冷え、低温の容器は温められるのが自然にとって自然な変化であるが、逆に、温度の異なる二つの容器を接触させたときに、高温の容器はさらに温度を上げ、低温の容器はさらに温度を下げる、という現象は決して起こらないことを我々は経験的に知っている。さらに、人間がどのような方法を用いても、自然に逆らって、平衡状態にある二つの容器を意図的に「完全にそっくりそのままの」、ビデオを逆再生するかの如く、元の高温と低温の状態に戻すことはできない。このようにどのような方法を用いても、完全にそっくりそのままの元の状態に戻すことのできない変化を不可逆変化という。逆に元に戻せるような変化を可逆変化という。

図3-5-2　自然にとって自然な変化の方向

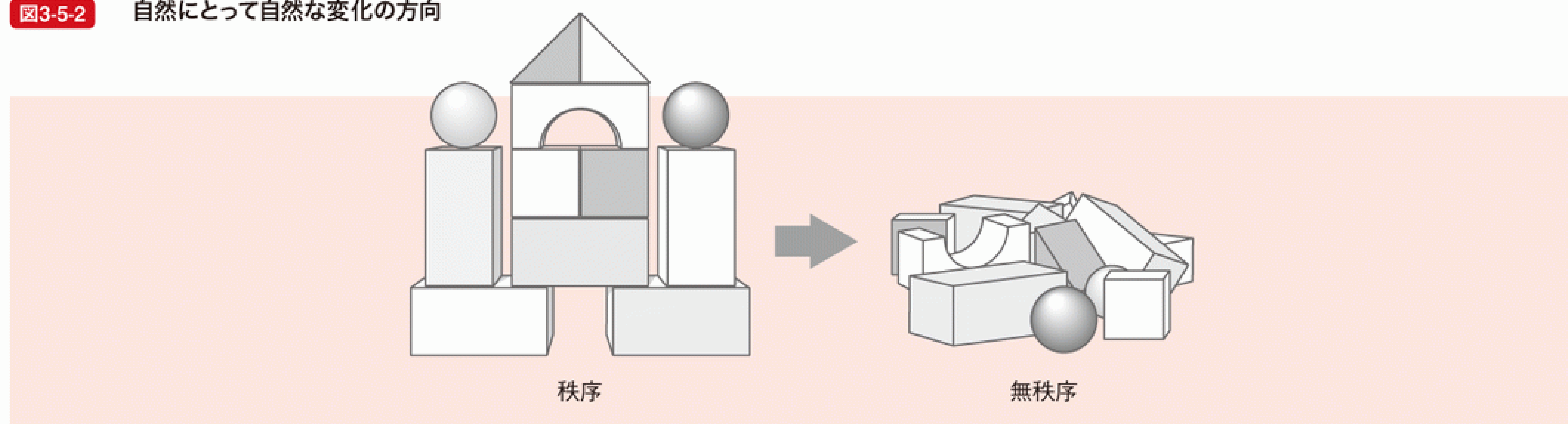
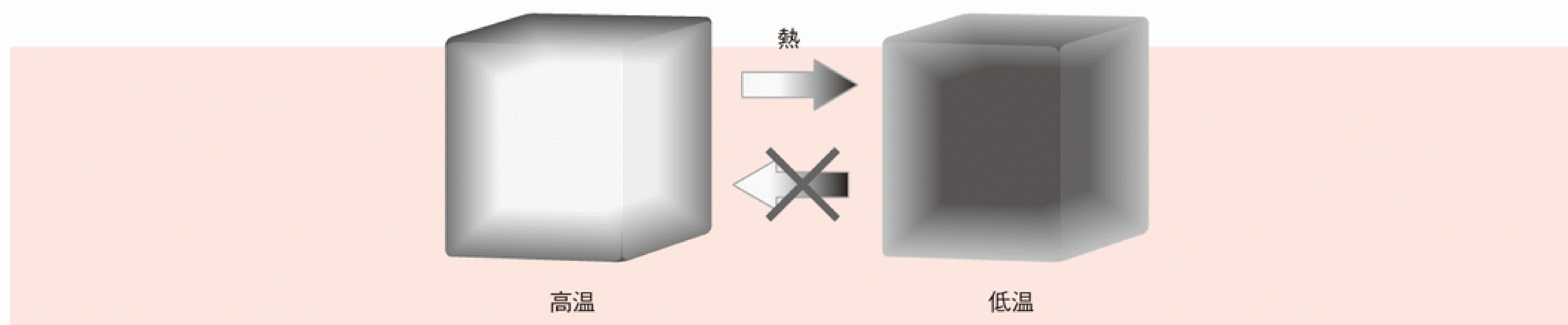


図3-5-3　低温から高温への熱の移動は自然には起こらない。（※厳密に言えば低温から高温への熱の移動が自然に起こる確率は0ではないが、それは極限的に0に近く、現実的に人間がそのような現象を観測することは決してないと言える。）もし人為的に低温から高温への熱の移動を起こした場合には、低温から高温への熱の移動を行ったという何らかの痕跡が必ず残ってしまう。したがって「完全にそっくりそのまま」もとの高温と低温の状態に戻すことはできないのである



3-6 熱機関を逆回転させてみる

▶ 可逆サイクルと不可逆サイクルの違い

カルノー、オットー、ディーゼルサイクルの理論効率について説明したが、なぜ実際のエンジンは理論効率を達成できないのだろうか。言い換えると、実際のエンジンではなぜエネルギーの損失が起きてしまうのか。その答えは、理論効率を達成する熱サイクルでは、ピストンをじわじわと非常にゆっくりとした速度で動かしてやらねばならないという点に隠れている。

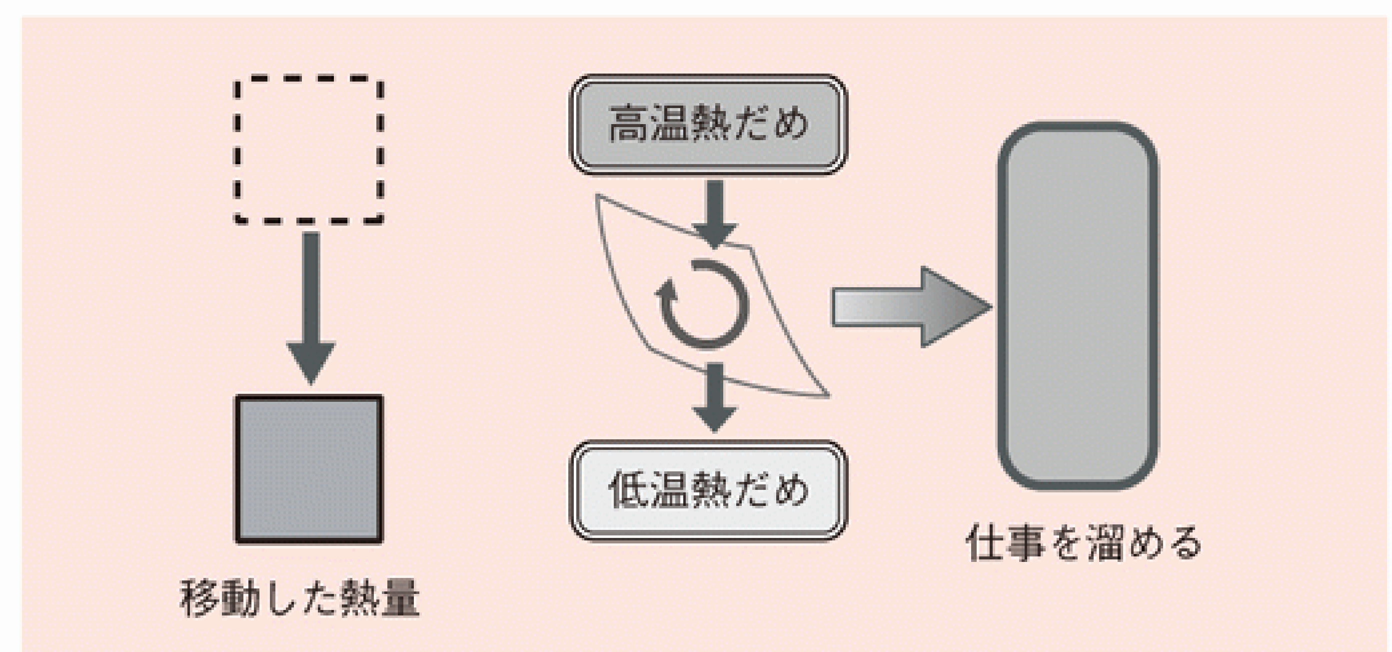
カルノーサイクルの逆行運転は可逆的である

再びカルノーサイクルを考えてみよう。ここでは、カルノーサイクルを、(1)→(2)→(3)→(4)の過程の順で稼働させた場合を「順行運転」と呼ぶこととし、逆に、(4)→(3)→(2)→(1)の順で稼働させた場合を「逆行運転」と呼ぶことにする。

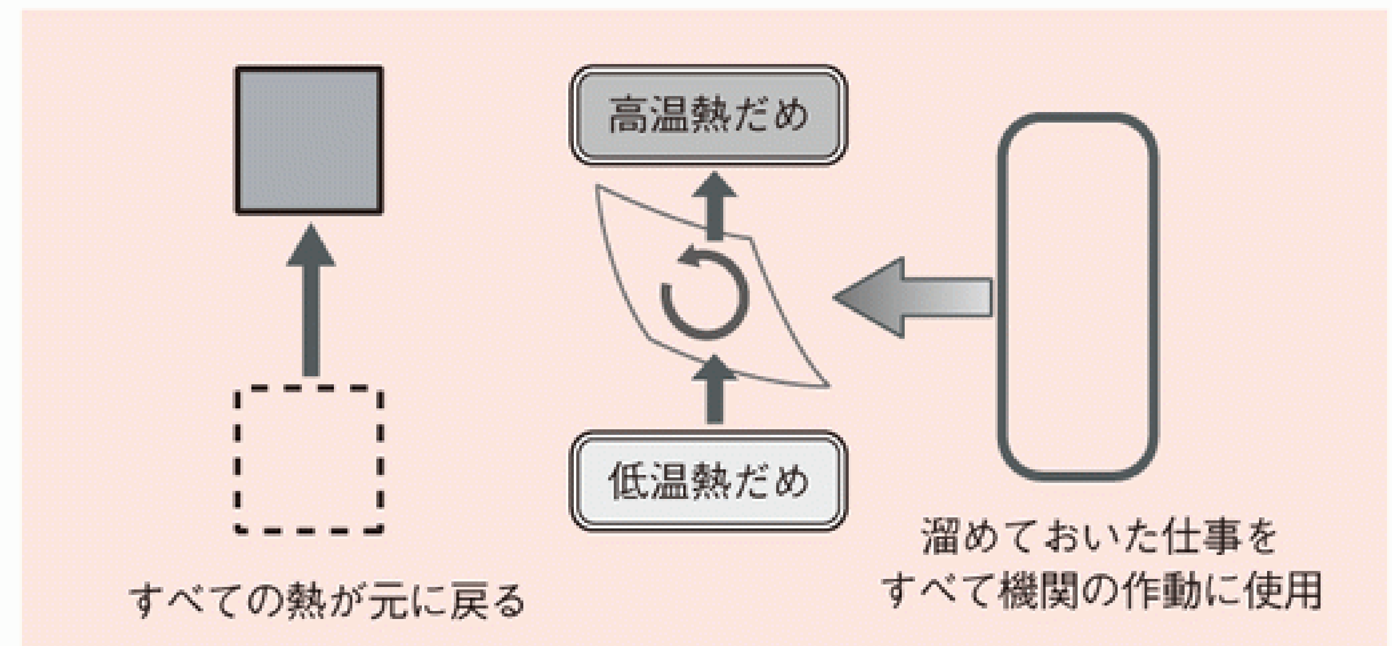
カルノーサイクルを順行運転させて、ある量の熱を高温熱だめから低温熱だめへ移動させ、その過程で発生させた仕事をどこかに溜めておくとしよう。次に、その溜めておいた仕事を用いて、カルノーサイクルを逆行運転させると、順行運転で移動した熱が低温熱だめから高温熱だめにそっくりそのまま元の状態に戻る。このとき、順行運転で溜めておいた仕事は逆行運転にすべて使われ、後には何も残っていない。つまり、カルノーサイクルを順行運転させ取り出した仕事を溜めておき、その溜めておいた仕事で逆行運転を行うと「完全にそっくりそのまま」の元の状態に戻るのである。これはカルノーサイクルの中に温度差のある物体同士の接触がまったくなく、それによる無駄な熱の移動がまったくないからこそ達成できることなのである。つまり、カルノーサイクルのすべての過程は可逆変化であるため、可逆的な逆行運転が可能なのである。

図3-6-1 カルノーサイクルの逆行運転

(1) 順行運転



(2) 逆行運転



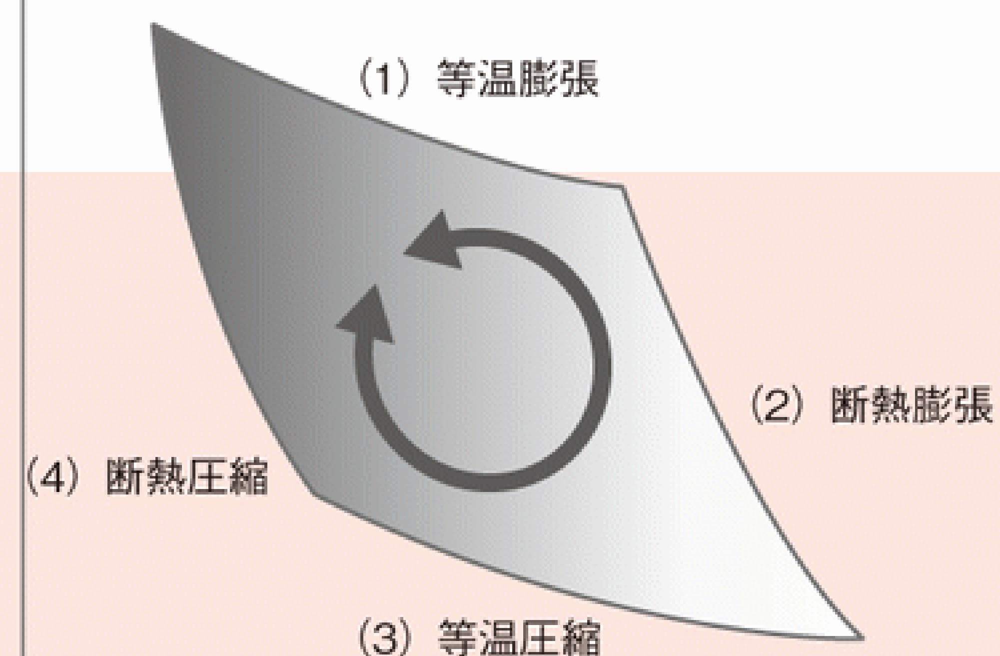


図3-6-2 カルノーサイクルの可逆性

カルノーサイクルはすべての過程が可逆的であるので、カルノーサイクルは「可逆的な」逆行運転を行うことができる

自動車エンジンの逆行運転は不可逆的である

それでは、オットーサイクルやディーゼルサイクルではどうだろうか。ここでも同様に、これらのサイクルを順行運転させて、取り出した仕事をどこかへ溜めておき、その溜めておいた仕事を用いて逆行運転を行ってみよう。

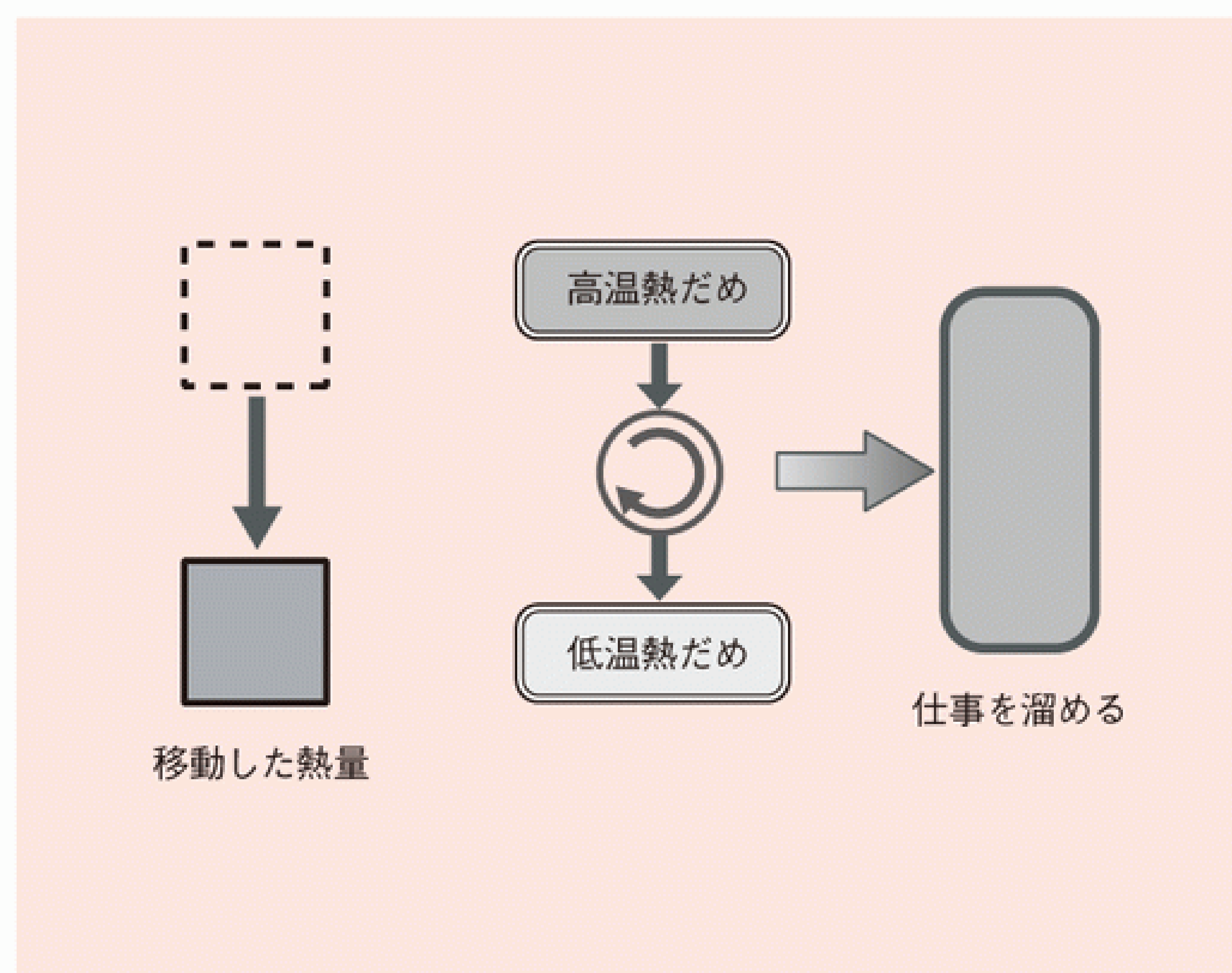
すると、順行運転で溜めておいた仕事を使い果たしたとしても、低温熱だめから高温熱だめへ、すべての熱を移動させることはできず、熱の一部を元に戻すことができない。その理由は次のとおりである。

オットーサイクルでは、(2)定容加熱と(4)定容冷却、ディーゼルサイクルでは、(2)定圧加熱と(4)定容冷却、において温度差がどうしても必要となる。これらの過程では、仕事を生み出さず、ただ高温から低温へ移動するだけの無駄な熱がどうしても存在してしまう。したがって、カルノーサイクルに比べ、その無駄な熱の移動分だけ、順行運転において取り出せる仕事量は減ってしまう。さらに、逆行運転を行う場合には、温度差のある過程で自然の法則に逆らって、低温から高温へ熱を移動させるために、また余分な仕事量が必要となってしまうのである。

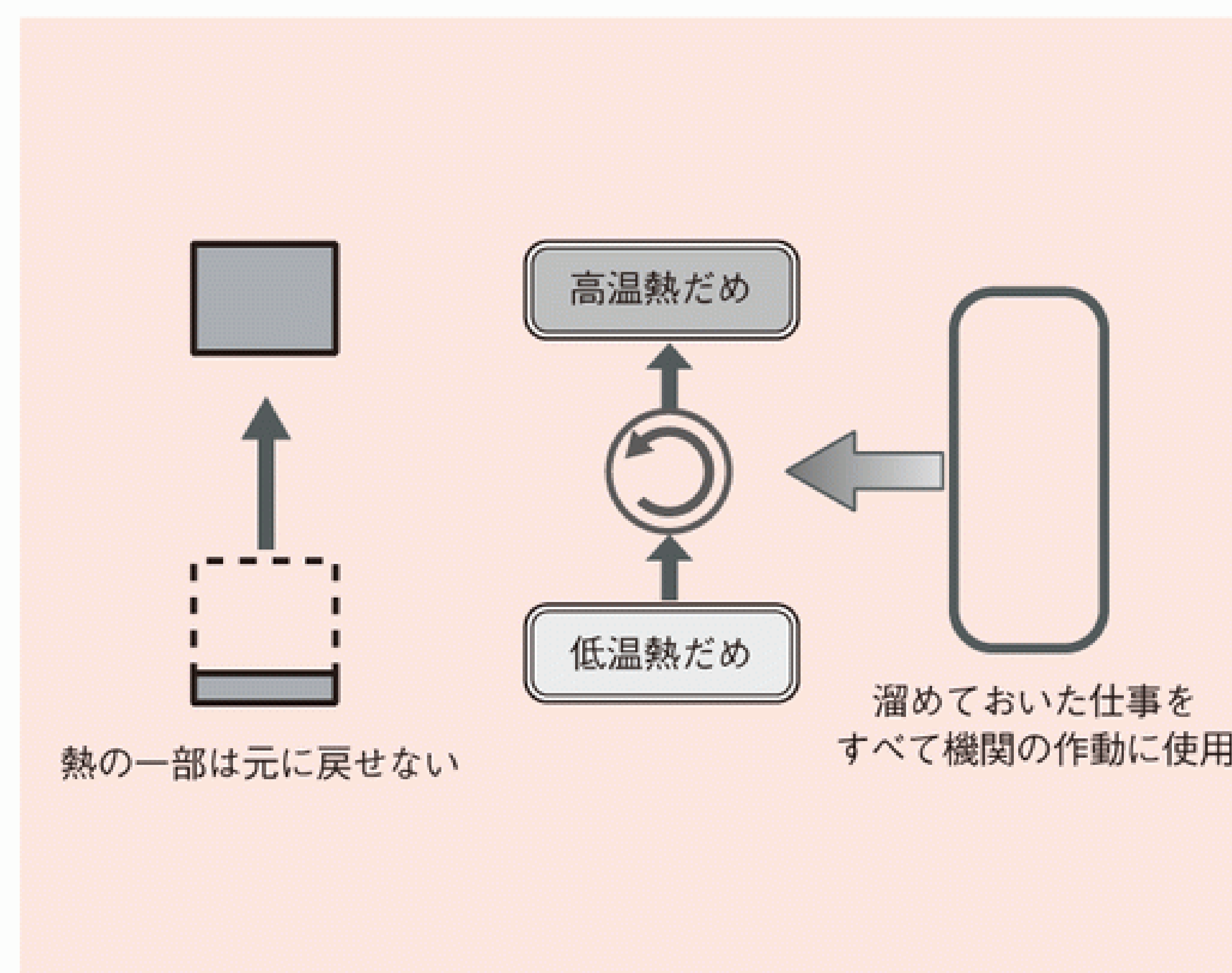
したがって、オットーサイクルやディーゼルサイクルは不可逆であるといえる。これはある重要なことを示唆している。実は、熱機関が可逆的な逆行運転を行うことができないということは、そのサイクルの中で仕事として取り出すことのできない無駄な熱の移動が起こっている、という証明そのものなのである。これについて、次章でさらに具体的に見てみよう。

図3-6-3 自動車エンジンの順行と逆行

(1) 順行運転



(2) 逆行運転



TIPS 実は、カルノーは、カルノーサイクルは可逆であるということを要に、順行運転と逆行運転を順に行い、後に何が残っているのか?ということに着目し、「カルノーサイクルを超える熱機関は存在しない」という結論を論理的に導いたのである。カルノーは後に何も残らないカルノーサイクルは理想機関である。もし、カルノーサイクルよりも効率良く仕事を行う機関があれば、それは永久機関である。しかし、そのようなものは存在しないとし、(第一種) 永久機関の存在をも否定したのである。

37 エネルギーの損失

▶ エネルギーの損失の正体は不可逆変化である

これまで、熱機関の理論効率を説明する際に「ピストンをじわじわと非常にゆっくりとした速度で動かしてやらねばならない」ということを繰り返し述べてきたが、これはまさに不可逆変化を起こさないためなのである。

なぜなら不可逆変化こそがエネルギー損失の正体だからである。ここではそれを具体的にみていくことにしよう。

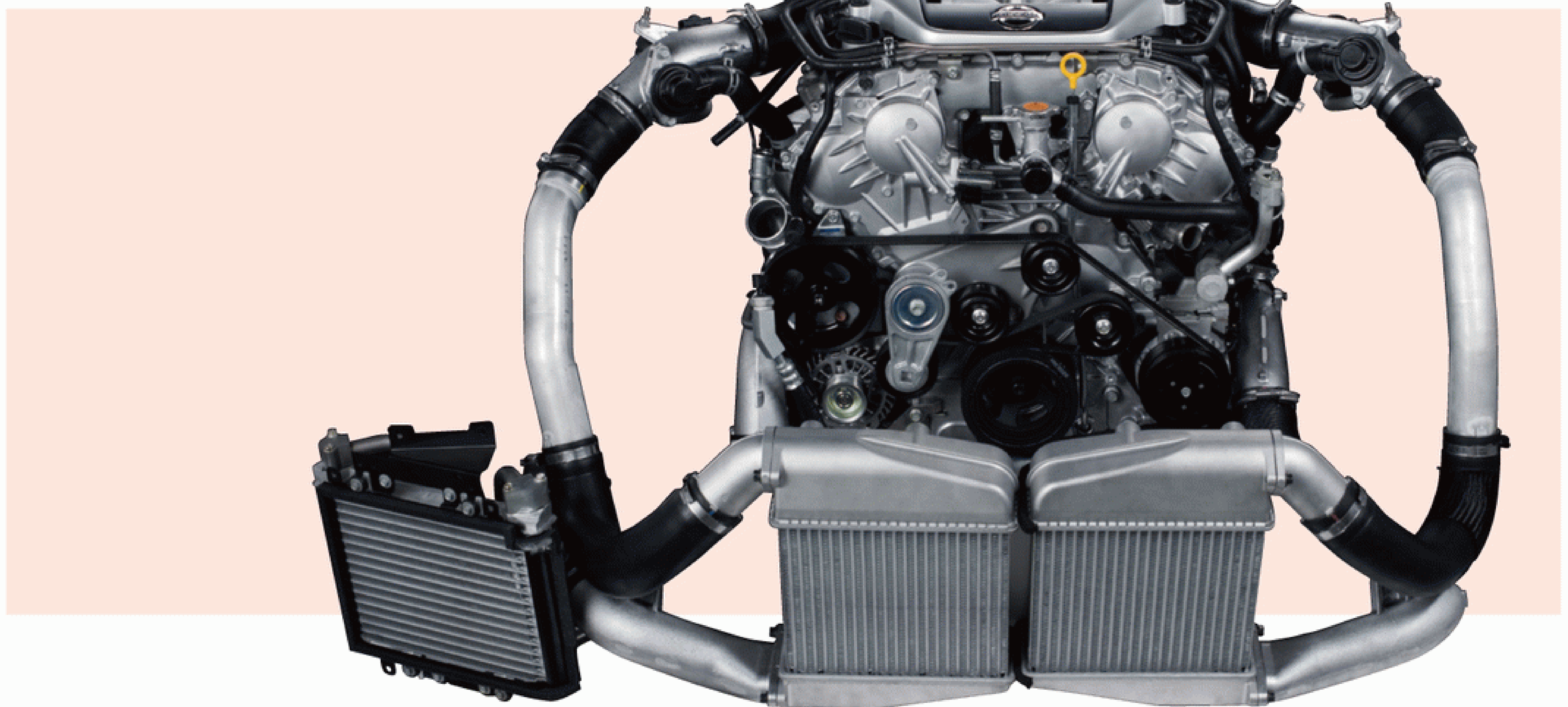
エンジンのエネルギー損失

前項で見た通り、カルノーサイクルは温度差による熱の移動を伴わないので、可逆的な逆行運転が可能である。しかし、オットーサイクルやディーゼルサイクルは温度差による熱の移動という不可逆的な過程がそれらのサイクル自身に含まれているため、可逆的な逆行運転を行うことはできない。

これまでは不可逆変化の例として温度差による熱の移動にのみ着目してきたが、熱機関が運転する過程に不可逆変化に分類される現象が含まれていれば、それは前項で見たように仕事として取り出すことのできない熱の動きであり、利用可能な仕事の量を減らしていることを意味するのである。

実際のエンジンはシリンダー内で燃料の化学変化を起こすことにより、熱を生み出して、そのエネルギーでピストンを動かして仕事を得る。このとき、発生した熱は温度差を生み出し、都合の悪い熱の移動を起こす。また、シリンダーとピストンの間では摩擦が起こるし、音や乱流も発生することになる。また、燃料の化学変化自体も不可逆変化である。もちろん、これらの現象は一度発生すると、ビデオを逆再生するかのようにそっくりそのまま完璧に発生前の状態に戻すことは決してできない変化であるので、不可逆変化であり、つまり、仕事として取り出すことのできない無駄な熱の移動なのである。

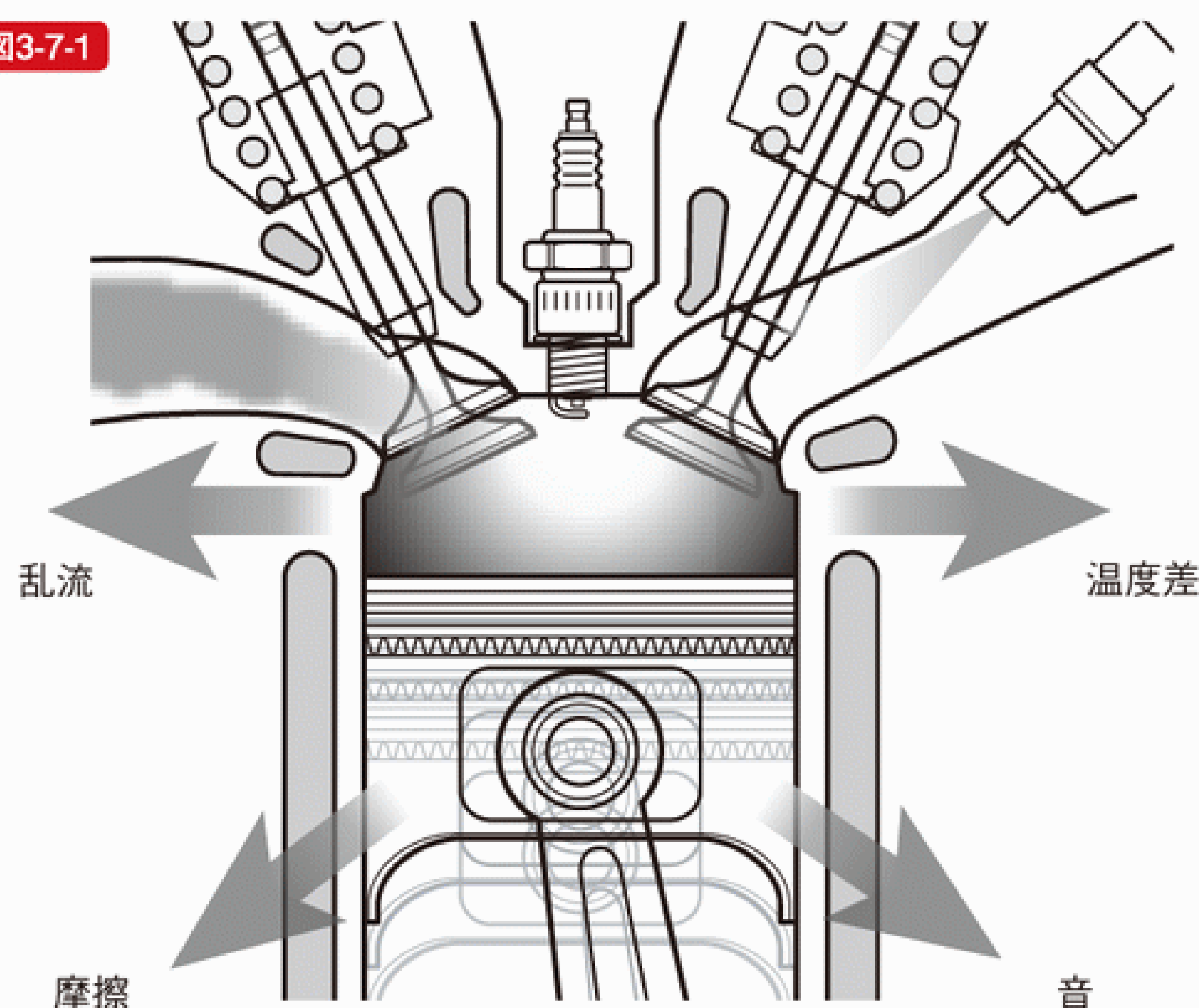
エンジン開発は効率との戦いである。写真は日産製 3.8 リッター V 型 6 気筒「VR38」型エンジン



機械のエネルギー損失

これまでは熱機関の話に限って話を進めてきたが、実は機械のエネルギー損失はすべて不可逆変化のために生じているのである。逆に言うと、効率の良い機械とは、不可逆変化をできるだけ伴わずに作動する機械であると言える。したがって、効率の良い機械を生み出すには、いかなる現象が不可逆変化であるかを理解し、それを可能な限り起こさないようにすることがひとつ大切なこととなるのである。

図3-7-1



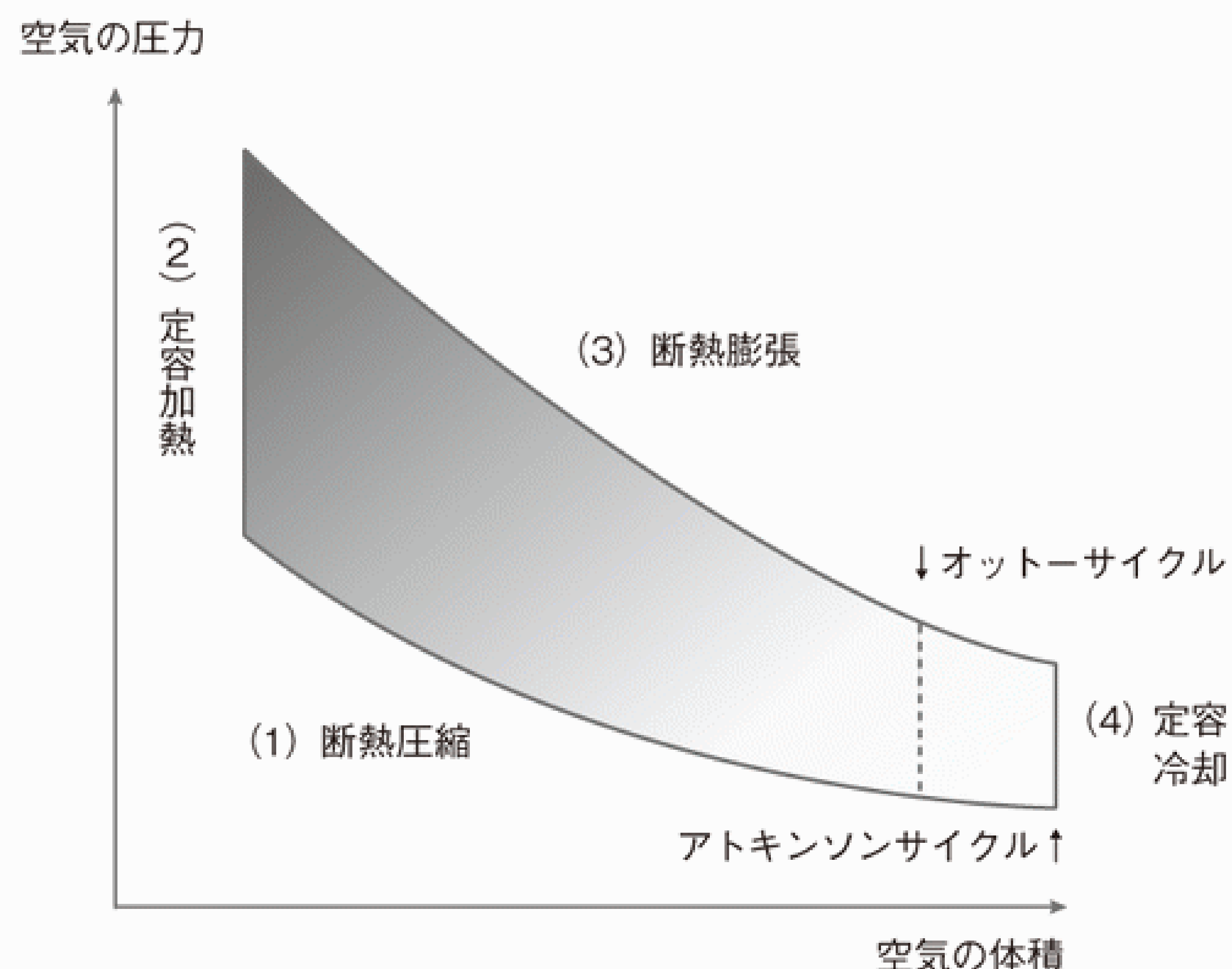
ピストンを速く動かすと、さまざまな不可逆的現象が起こり、無駄なエネルギー変換となる

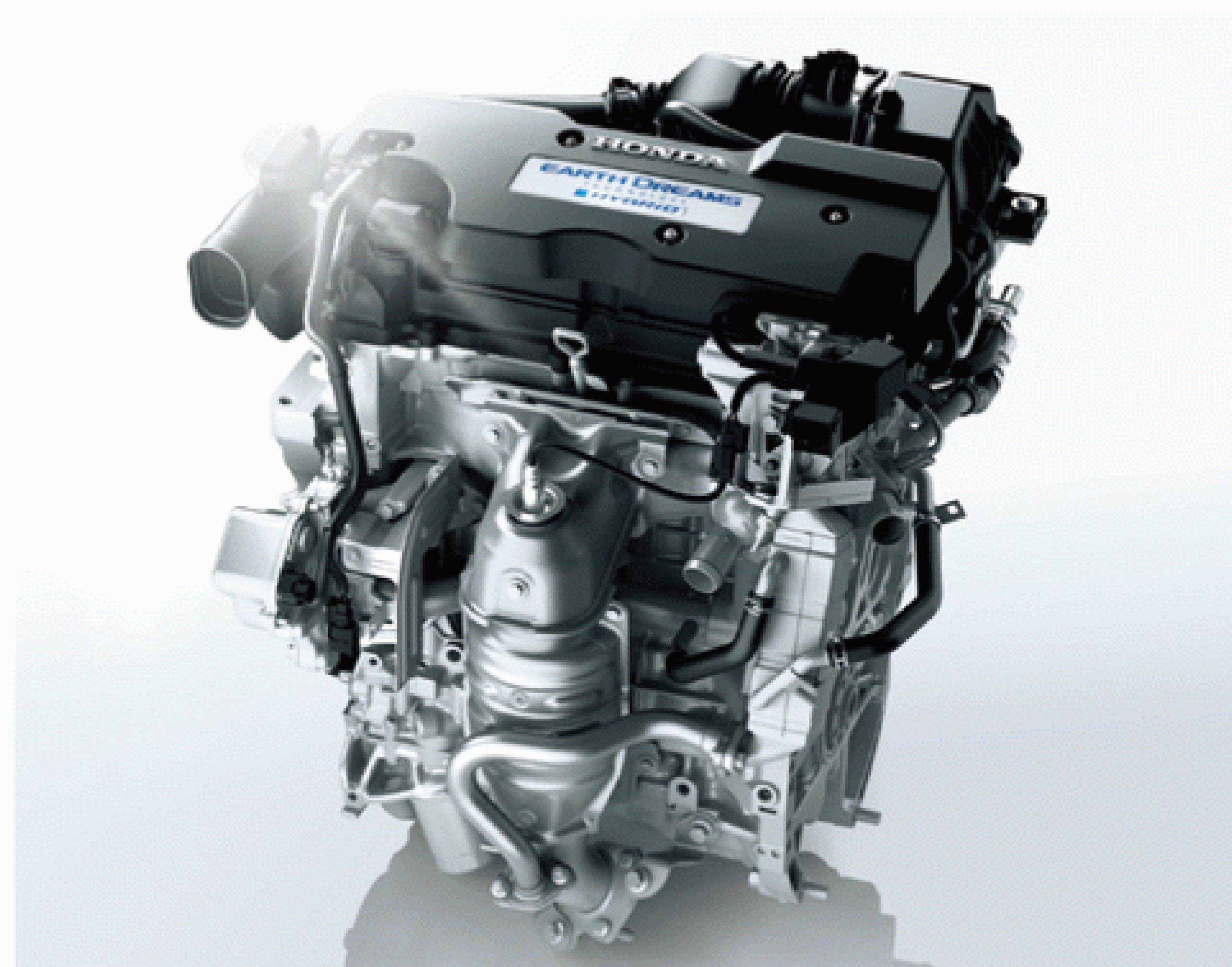
TIPS アトキンソンサイクルはオットーサイクルと同じ熱サイクルであり、オットーサイクルの膨張行程を長くすることにより、仕事を多く取り出す仕組みであると一般的には説明されている。ここで、いかに不可逆変化を起こさないエンジンを作成するか、という視点から見ると、アトキンソンサイクルとは、過程(1)と(3)の断熱変化を延長し、不可逆変化である過程(4)の定容冷却を短くした熱サイクルであると言える。ちなみに、高温の断熱膨張と低温の断熱圧縮の線が交わることは決してないので、これらをつなぐ定容過程は必ず必要となる。

同様に、エンジンに限らずあらゆる機械の高効率化の工夫を考察していくと、「すべては不可逆変化を起こさないための工夫である」、と言うことができる。

図3-7-2 **アトキンソンサイクル**

アトキンソンサイクルとは、断熱過程を延長し、不可逆変化である定容冷却を短くした熱サイクルである





ホンダのアコード ハイブリッドに搭載されている２リッターアトキンソンサイクル DOHC i-VTEC エンジン

複雑に見える現象も単純な法則により支配されている。



4-1 ベルヌーイの定理

▶ 流体の圧力と速度の関係を考えよう

自動車の空気力学特性は、燃料消費量や加速性能、走行安定性などに大きな影響を及ぼす。特にレーシングカーにおいては、その空力特性が車両全体の運動性能へ寄与する割合が高く、レースの勝敗を左右する大きなファクターとなるため、一部の専門家だけでなくレース愛好者の間でも話題に挙がる。

そこで、ここからは自動車の空力解析や空力設計の基礎となる空気力学の理論について解説することにしよう。

流れがあるときの分子の運動

前項3-1で、平衡状態において圧力はどの方向から計測しても同じ値となる、と説明した。無秩序に運動している無数の分子も、マクロな視点で見ればその衝突力はどの方向にも均等に振り分けられているからである。これをエネルギーの枠組みからから見ると、どの方向にも分子の運動エネルギーが等しく分配されている、と言える。これをエネルギー等分配則という。

しかし、流れがある場合は、このエネルギー等分配則は成り立たなくなる。流れの中では、分子の運動エネルギーは流れの方向に多く分配され、その分流れとは異なる方向の運動エネルギーが減少するからである。流れの中で圧力を計測すると、流れの方向で計測した圧力が最も高く、流れと垂直な方向で計測した圧力が最も低くなる。

ここで注意するべき点として、流れが変化する前と後で、分子の運動エネルギーの総和は変化しないことである。例えば、ある平衡状態から流れが起こったとき、平衡状態での分子の全運動エネルギーと流れの中での分子の全運動エネルギーは同じ大きさである。

図4-1-1 分子の運動。分子の運動に流れがあると、流れる方向の圧力が最も高くなり、流れと垂直方向の圧力が最も低くなる

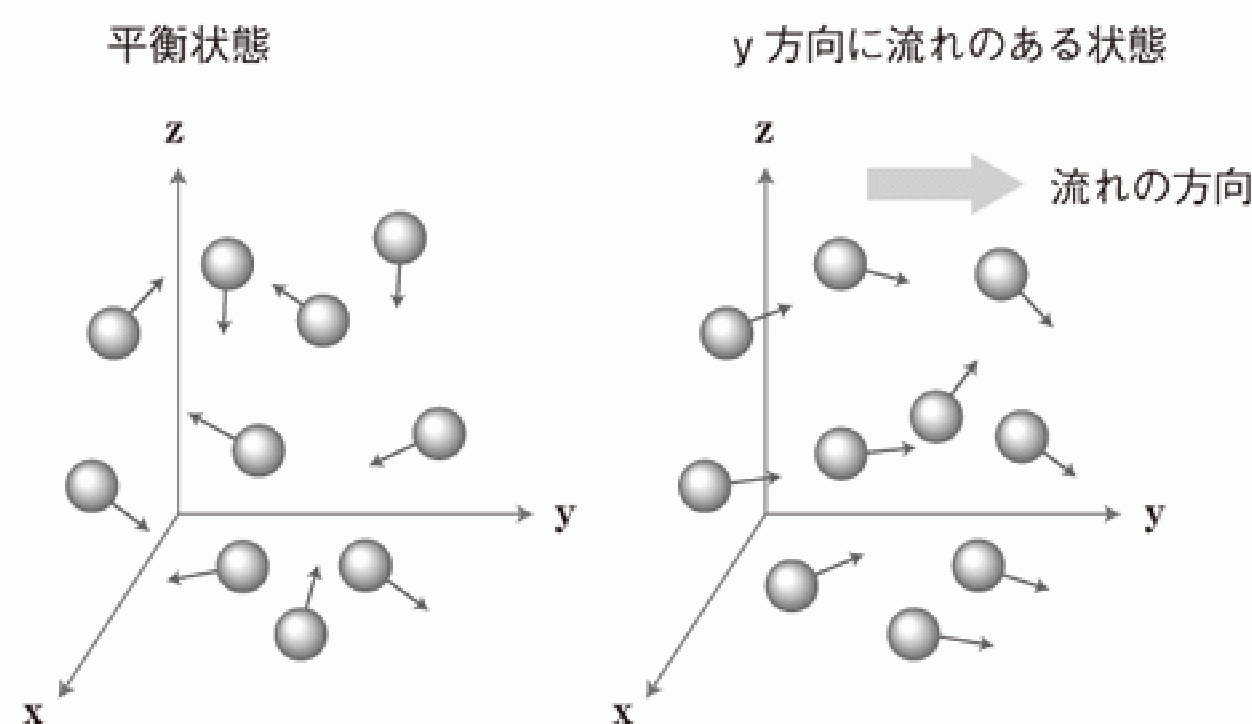
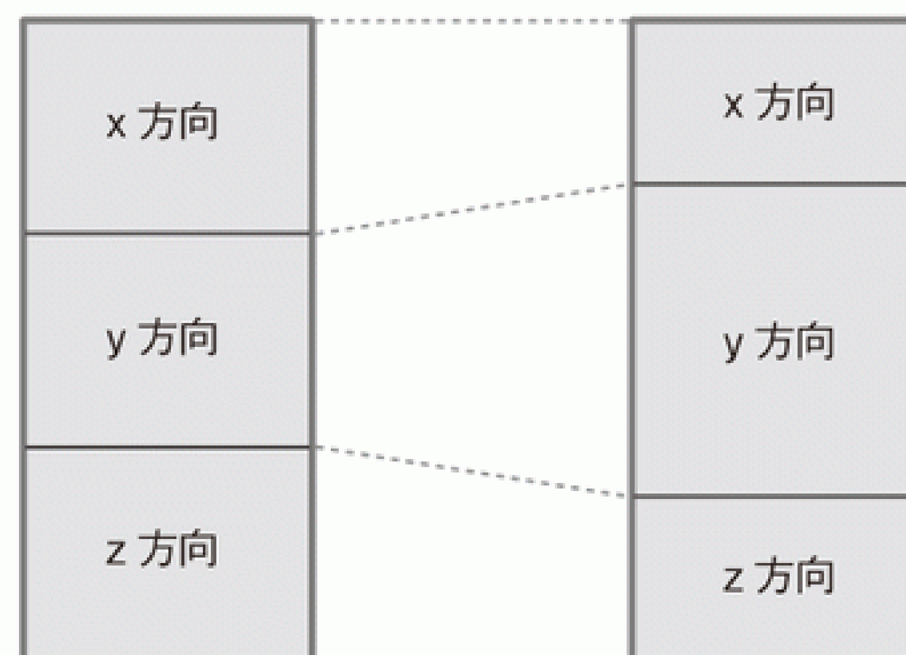
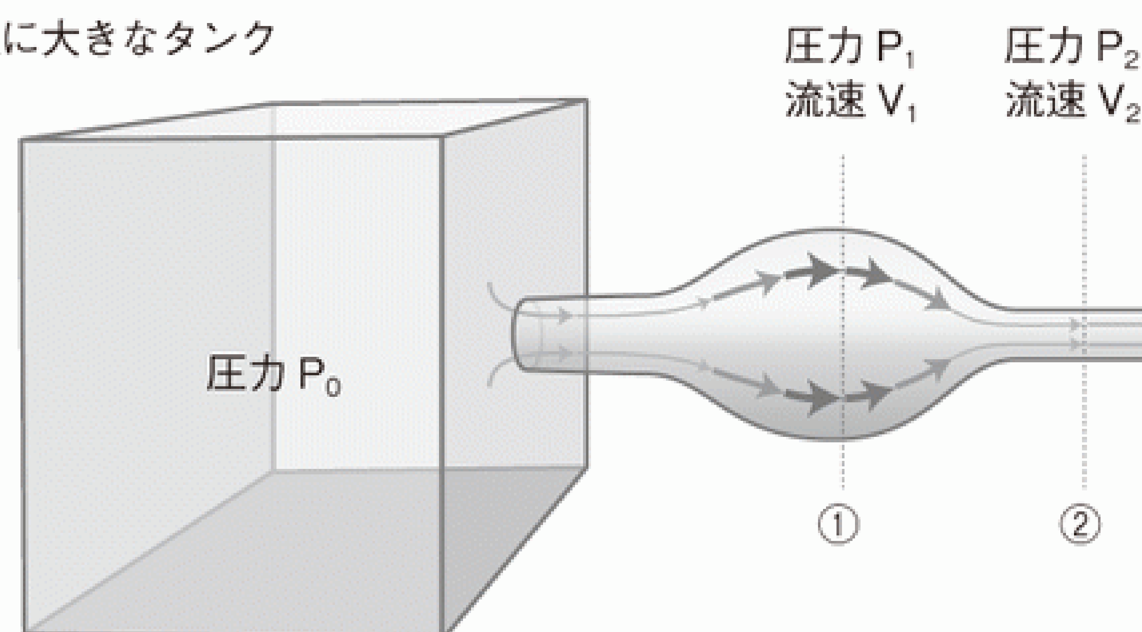


図4-1-2 分子の運動エネルギーの配分



流れの方向が変わっても、分子の運動エネルギーの総量は変化しない

図4-1-3 ベルヌーイの定理の例



流路が拡大している①では流速は低くなり、圧力が高くなる
流路が縮小している②では流速は高くなり、圧力は低くなる

流れがあるときの分子の運動

流速の変化により分子のエネルギー配分が変化したときに、流速と圧力がどのような関係にあるかを示したものが、ダニエル・ベルヌーイによるベルヌーイの定理である。ベルヌーイの定理は下のような数学的表現を持つ。

ここで、Pは圧力、ρは流体の密度、Vは流速である。ベルヌーイは「活力」という現在のエネルギーに通じる概念から、流速と圧力の関係に気付いたが、彼自身は正確には圧力と速度の関係を理解していなかったと言われている。ベルヌーイの定理に正しい数学的表現を与えたのは、彼の幼馴染で親友だったレオハルト・オイラーである。

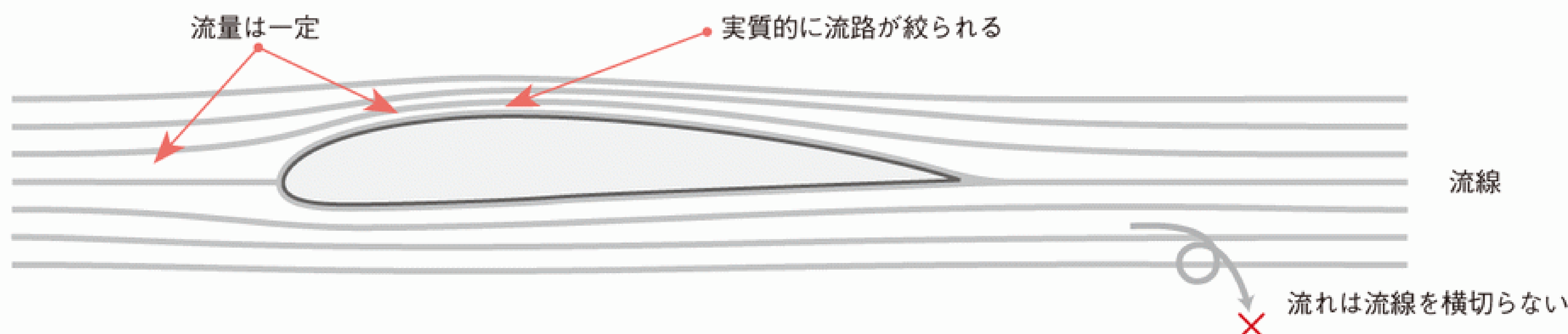
$$P_0=P_1+\frac{1}{2}\rho V_1^2=P_2+\frac{1}{2}\rho V_2^2$$

揚力発生のメカニズム

ここではベルヌーイの定理を用いて、翼型が揚力を発生するメカニズムを説明しよう。図4-1-4は翼型周りの流れ場を流線で表したものである。流線とは流体の速度ベクトルを接線とする曲線で、いわば流れの道筋である。この流線の定義から流れは流線を横切ることはない。つまり、同じ流線で挟まれた領域の流量はどこも同じであることに注意しよう。ちなみに流体が存在する場を流れ場と呼ぶ。

図4-1-4の流れ場において、翼型の前方では流線は等間隔であるが、翼型の上面では流線の間隔が狭まっているのがわかる。流れが流線を横切ることはないので、翼型の上面では実質的に流路が絞られていると考えることができる。しかし、同じ流線で挟まれている流路の流量は変化しないわけであるから、流路の絞られている翼型の上面で流速は速くならなくてはいけない。したがって、ベルヌーイの定理より、翼型の上面では流速の二乗に比例して圧力が低くなるのである。逆に、もし翼型の下面で流線の間隔が広がっていれば、流速は下がり、圧力が上がる。このようにして生じる上面の圧力と下面の圧力の差が揚力の正体である。

図4-1-4 翼型の揚力発生のメカニズム 翼の上面では実質的に流路が絞られるが、流量は変化しないため翼の上面の流速が上がり、その結果圧力は下がる



4-2 流体の運動の法則

▶ 流体の運動方程式が意味すること

オイラー方程式

流体の運動方程式を初めて導いたのは、ベルヌーイの定理を正しく定式化したオイラーである。これは流体力学の進歩にとって、ベルヌーイの定理などよりもはるかに重要なことである。なぜならその運動方程式を解けば流れ場の様子が算出できるからである。オイラーが導いた流体の運動方程式はオイラー方程式と呼ばれ、次式のように表す。

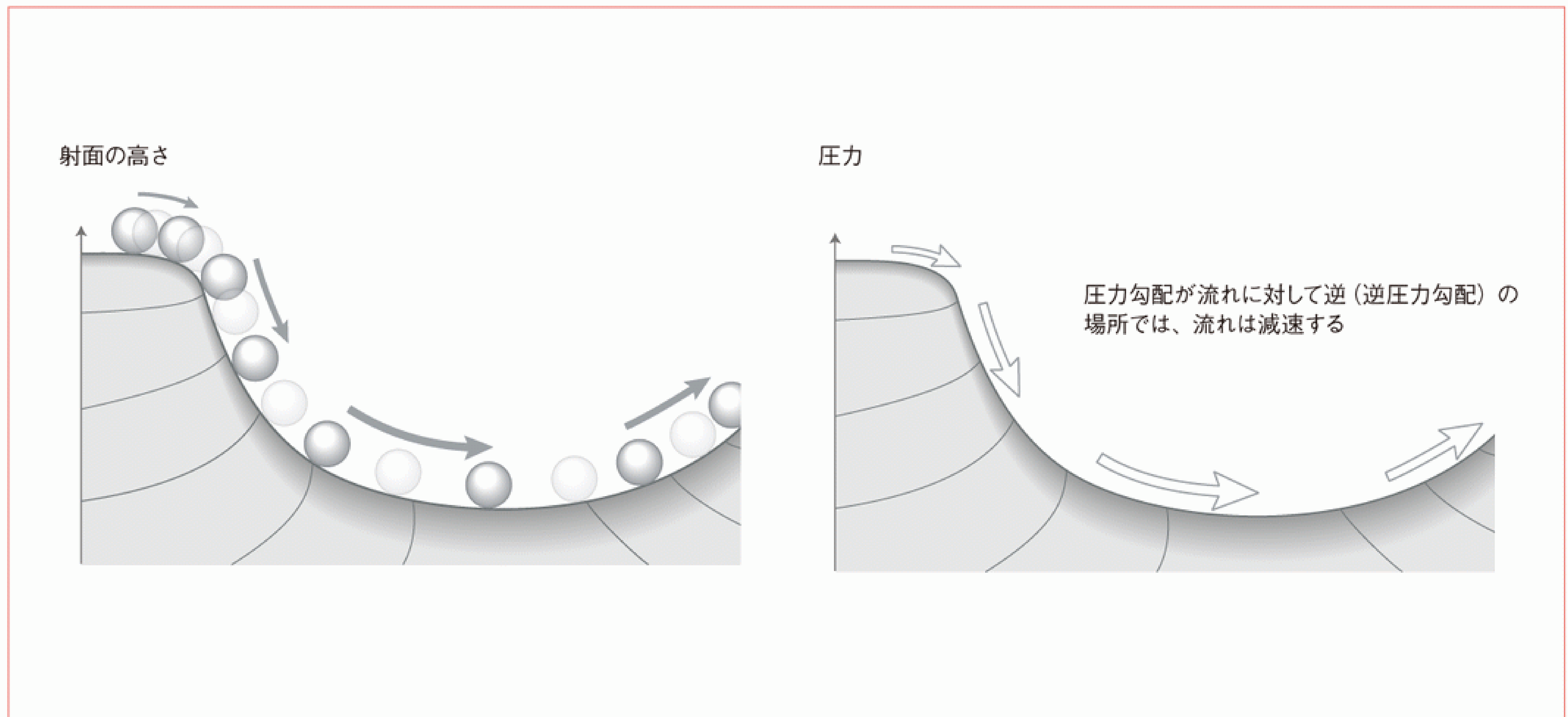
$$\rho\frac{Du}{Dt}=-\nabla P$$

左辺は、流体が流れる(加速する)効果を表現している。一方、右辺は圧力項と呼ばれ、圧力の勾配を表現している。要約すると、オイラー方程式は「流体の運動は圧力勾配に支配される」と述べているのである。

圧力勾配とその場を流れる流体の関係は、斜面とそこを転がる球の関係と同じであると言える。ここで、斜面にあたるものが圧力勾配であり、球にあたるものが流体である。たとえば、斜面の勾配が急なところでは球は加速し、斜面の勾配が逆向きになると減速する。同様に、流体は圧力勾配が急なところでは加速し、逆圧力勾配において流れは減速する。

オイラー方程式はこのように誰もが直感的に理解できる流体の性質を意味しているにすぎない。つまり、一見複雑に見える流れの様子も、オイラー方程式が示す単純な法則により支配されているのである。

図4-2-1　圧力勾配と流体の関係は、傾面と球の関係に似ている



TIPS オイラーの空気力学(流体力学)への貢献は多大である。ベルヌーイの定理といったそれまで知られていた流体の性質を物理的な原理に沿って正しく定式化したことがオイラーの重大な功績である。特に、「連続の式」と「オイラー方程式」を導いたことは、オイラーの流体力学における最も優れた業績である。彼はこれら2つの方程式を1753年の論文で発表している。彼の仕事により流体力学諸問題の定量解析の道が開けたのである。

ナビエ・ストークス方程式

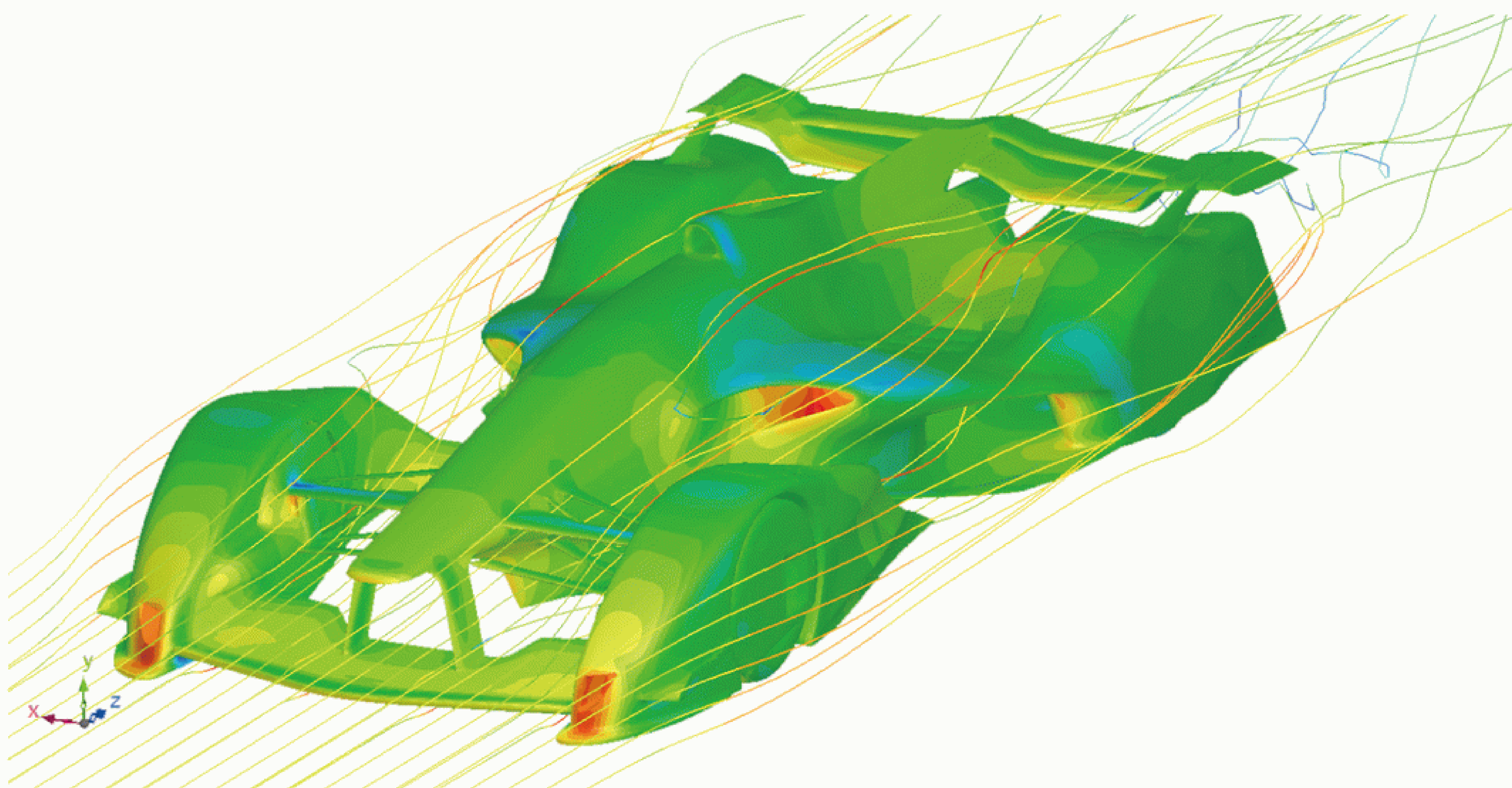
オイラー方程式は、流体の速度と圧力の関係に数学的表現を与えたが、実際の流体が持つ粘性の効果は含まれていない。粘性の効果を含めた運動方程式は19世紀中ごろにルイ・ナビエとジョージ・ストークスによって導かれた。彼らによって導かれた流体の運動方程式をナビエ・ストークス方程式と呼ぶ。ナビエ・ストークス方程式は次式のような表現を持つ。

$$\rho\frac{Du}{Dt}=-\nabla P+\nabla\cdot\tau$$

オイラー方程式と同様に、左辺は流体が流れる(加速する)効果、右辺第一項は圧力項で、圧力の勾配を表現している。新たに加わった右辺第二項は粘性項や拡散項と呼ばれ、粘性の特性を表現している。要約すると、ナビエ・ストークス方程式は「流体の運動は大筋圧力勾配に支配されるが、粘性も流体の運動に影響を与える」と述べているのである。ちなみに上の式は、流体の密度変化を考慮しない非圧縮性のナビエ・ストークス方程式である。

TIPS オイラー方程式もナビエ・ストークス方程式も未だに一般解が発見されていない。したがって、これらは非常に特殊な限られた流れにしか直接適用できない。そこで、これらの方程式から一般の流れ場を知るには、今のところコンピュータを使って数値的に解くしかない。
ちなみに、ナビエ・ストークス方程式は流体力学だけでなく、非線形偏微分方程式の典型的問題として数学的にも非常に重要な研究対象となっている。2000年にはアメリカのクレイ数学研究所は7つの数学上の未解決問題に100万ドルの懸賞金をかけた。これらはミレニアム問題と呼ばれ話題を集めたが、その7つの未解決問題のうちの一つが、ナビエ・ストークス方程式の解の存在と滑らかさを証明することである。

コンピュータで解かれたナビエ・ストークス方程式



4-3 渦糸と不連続面

▶ 流体の運動方程式の回避戦術

オイラー方程式もナビエ・ストークス方程式も、流体の運動を正確に表現した方程式だが、その数学的難しさのため実際の流れに対してはほとんど適応できず、行き詰まりが生じていた。そこで、これらの方程式に頼ることなく、流れを解析しようとする動きが出てきた。ここではダランベールのパラドクスとそれを乗り越える試みを紹介しよう。

ダランベールのパラドクス

ベルヌーイやオイラーと交流のあったダランベールは、二次元の定常流れの中に置いた円柱の抗力(流れの速度と平行で逆向きに生じる力)の理論解を求めた。その結果は抗力が0になるというものであった。

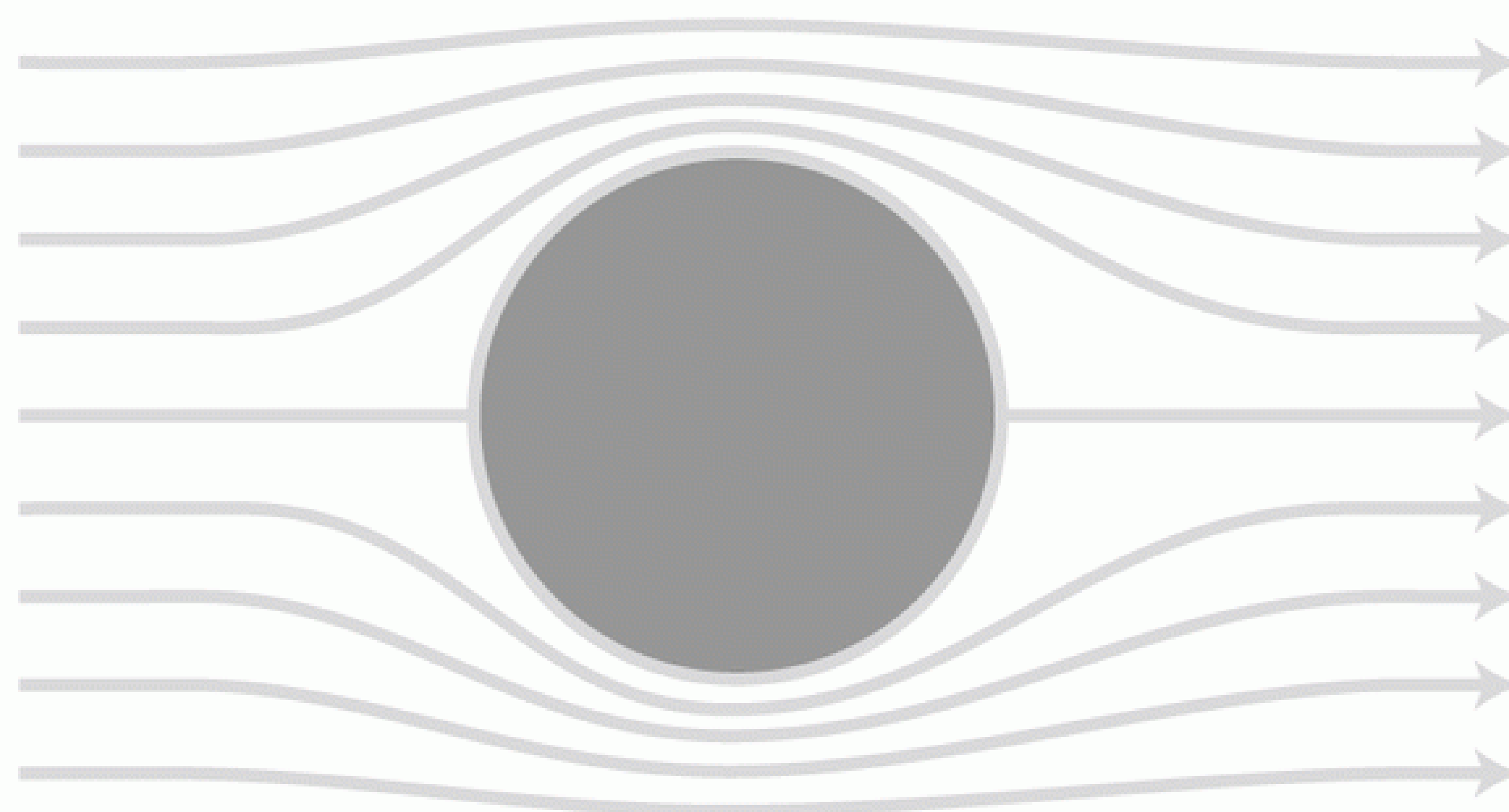
当然、実際の流れで抗力が0となることはない。しかしながら、彼の行った計算自体に間違いは見当たらないし、誰が何度計算をやり直しても抗力は0であるという結果は変わらなかった。

これは以後160年間、流体力学上の重大な問題となり、ダランベールのパラドクスと呼ばれるようになった。

現代の知識があれば、彼の行った計算自体は決して間違ってはおらず、流体の粘性を考慮しなかったために導かれた当然の結果であることが解る。粘性を考慮しない定常な流れの場合、円柱の前後で流れが対称となる。したがって、圧力も円柱の前後で対称となるため、円柱周りの圧力がお互いに打ち消しあい、その結果、抗力が0となるのである。

当時はナビエ・ストークス方程式もなく、粘性効果の取り扱い方はまだあまりわかっていなかった。ダランベールのパラドクスが完全に解消されたのは、1904年にプラントルが境界層の概念を提唱したときのことである(4-5でさらに詳しく解説する)。

図4-3-1 ダランベールのパラドクス



物体の中心に対して流れが対称となるため、抗力は0になる

TIPS 渦糸や不連続面の概念は、この後で説明する揚力の循環理論、境界層理論、揚力線理論へと発展していくことになる。また流体力学で定義されている渦は、一般の人達がイメージするような渦巻とは異なる。流体力学において渦の定義は、流体の剛体的な回転運動であり、その「運動形態」を指している。

渦糸と不連続面の概念

流体の運動方程式を直接解くことなく、流体の運動を数学的にとり扱う道を最初に切り開いたのが、ドイツのヘルマン・ヘルムホルツである。彼は渦の概念を発展させ、新しい流れの概念を提唱した。

図4-3-2のように左から右へ流れる微小な流体要素を考えよう。一般に流体要素の表面にせん断応力(物体をせん断するように働く力。2-1参照) が働くと、流体要素の面が移動する速度に違いが出る。その結果、流体要素は回転し、渦となる傾向がある。このようにしてできる断面積が無限小の概念的な渦の糸を渦糸と呼び、渦糸が連なって形成される幕を渦層と呼ぶ。

このような渦糸の概念を導入すると、図4-3-3のように、速度が異なる流れが合流するときにできる速度の不連続面(連続していた値が急に変化する面) や、物体近傍の流速が大きく変化する領域(境界層) を数学的に取り扱うことが可能となる。これらの流れは微小な流体要素の回転から成るとみなすことができ、すでに数学的表現をもっている渦と同様に取り扱えるためである。

ヘルムホルツによって、渦糸や渦層の概念が導入されると、一世紀の間謎とされていたダランベールのパラドクスがにわかに解決できる見通しが開けてきた。ヘルムホルツが不連続面の概念を発表した直後、キルヒホフやレイリーはその不連続面の概念を取り入れて平板に働く抗力の算出を試みた。ダランベールのパラドクスによると平板の抗力は0となる。しかし、もし平板の前縁と後縁から不連続面が伸びているとしたなら、平板の背面を流速の低い領域であるとみなすことができ、事実上ダランベールのパラドクスが存在しなくなる。結局、彼らは平板背後の圧力を実際よりも高く見積もりすぎたため、抗力算出の試みは失敗に終わったが、抗力算出の努力は確実に正しい方向へは向かっていた。

図4-3-2 渦糸、渦層の概念。ここでは渦糸の概念をできるだけわかりやすく説明するために、渦糸は大きさがあるものであるかのように描いたが、実際の渦糸の断面積は無限小である

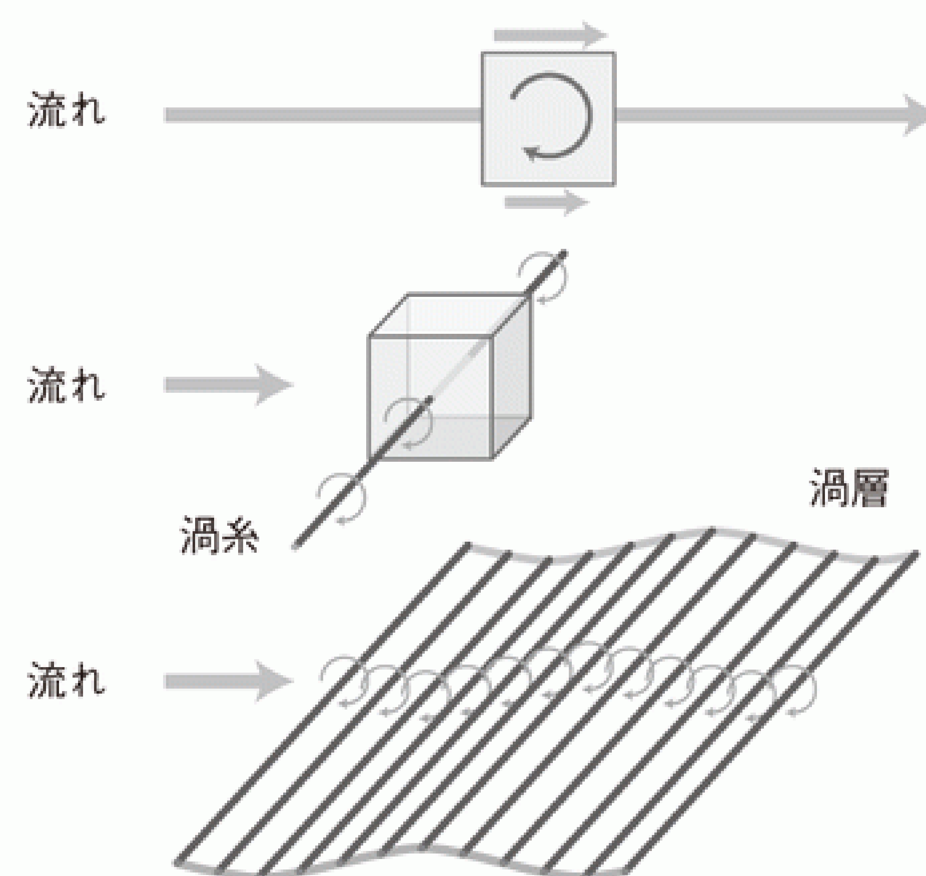


図4-3-3 上下で流速が異なる不連続面に生じる力

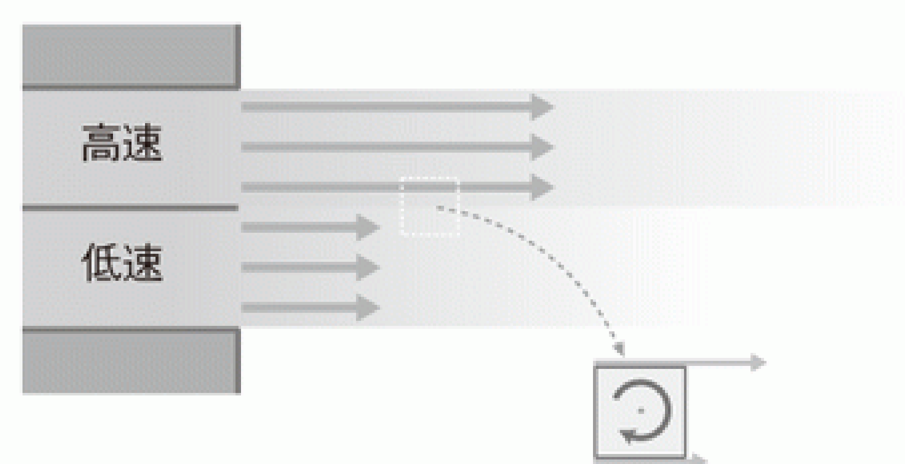
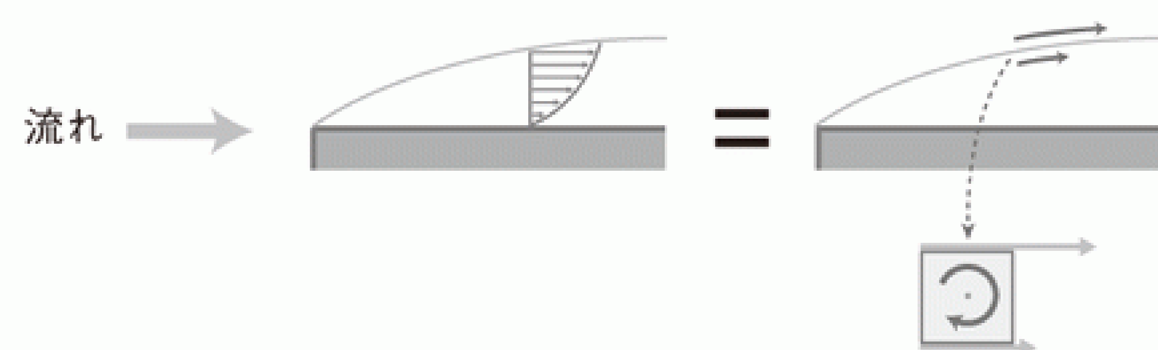
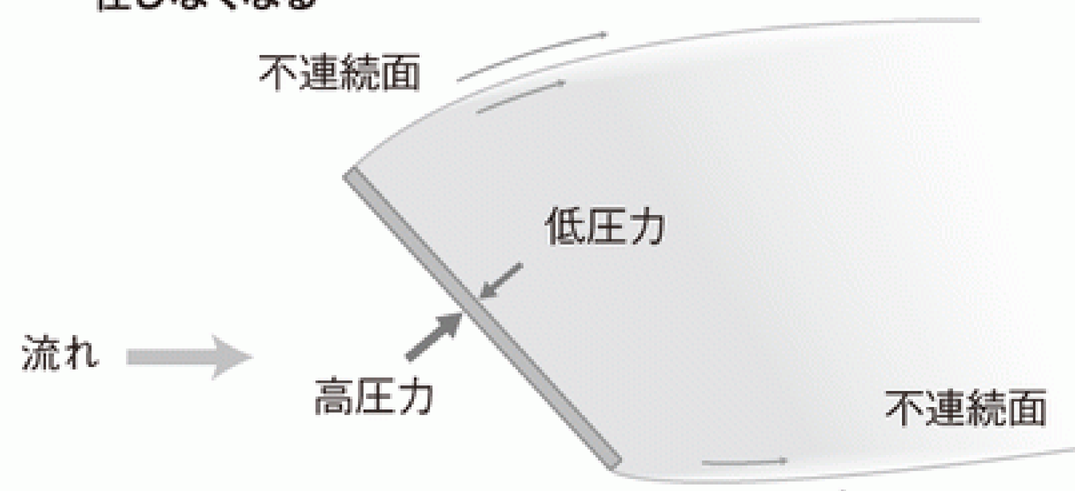


図4-3-4 流速の不連続面のへの渦糸（渦層）の適用



境界層も流速の不連続面として扱うことができる

図4-3-5 平板周りの流れ場の概念図。もし平板の前縁と後縁から不連続面が伸びているとしたなら、平板の背面を流速の低い領域であるとみなすことができ、事実上ダランベールのパラドクスが存在しなくなる



4-4 クッタ・ジュコースキーの定理

▶ 揚力の循環理論

キルヒホフやレイリーは、不連続面が物体の鋭角部で形成されると仮定していた。ところが、そのような不連続面は物体表面のどこからでも発生し、物体表面は渦層によって覆われていると考えることもできる。実は、このような考え方は揚力の循環理論と呼ばれる揚力理論に密接に関係しているのである。

クッタ・ジュコースキーの定理

物体の表面では粘性により、流速に大きな変化が生じるため、物体の表面のどこからでも渦糸は発生し、物体を覆う渦層となる。このとき、物体を覆う渦層全体の強さを「循環」と呼ぶ。このように考えると、物体周りの流れは、一様流と循環流という二種類の流れに分離することができる(循環の定義とは任意の平曲線に沿って流速を線積分して得られる量である)。

以上のような考察をもとに、一様流と循環流があるとして、これらを重ね合わせた流れを考えてみよう。この場合、循環流の上側では一様流と流れる方向が同じなので、上側の流速は増加することになる。一方、循環流の下側では一様流と循環流が逆方向に流れようとするので、これらを重ね合わせれば、流速は減少することになる。その結果、ベルヌーイの定理により、循環流の上部では圧力が低下し、下部では圧力が上昇するため、上向きの揚力が発生することになる。(図4-4-1)

このような流れ場はまさに翼型周りの流れ場に類似しており、翼型の上面では流速が高くなり圧力は低下し、翼の下面では流速が低くなり圧力が上昇することに対応している。実際に翼型周りの流れ場は一様流と循環流の重ね合わせとして取り扱うことができ、循環が求まれば、揚力を次の式で算出できるのである。(図4-4-2)

揚力＝流体の密度 × 一様流の流速 × 渦の循環　($L=\rho V \Gamma$)

この理論はウィルヘルム・クッタとニコライ・ジュコースキーがそれぞれ独立に提唱したもので、クッタ・ジュコースキーの定理と呼ばれている。

この定理からわかることは、物体の形状がどのようなものでも、循環が求まれば、その物体に発生する揚力は求められるということである。

図4-4-1　一様流と循環流を重ね合わせた流れ場

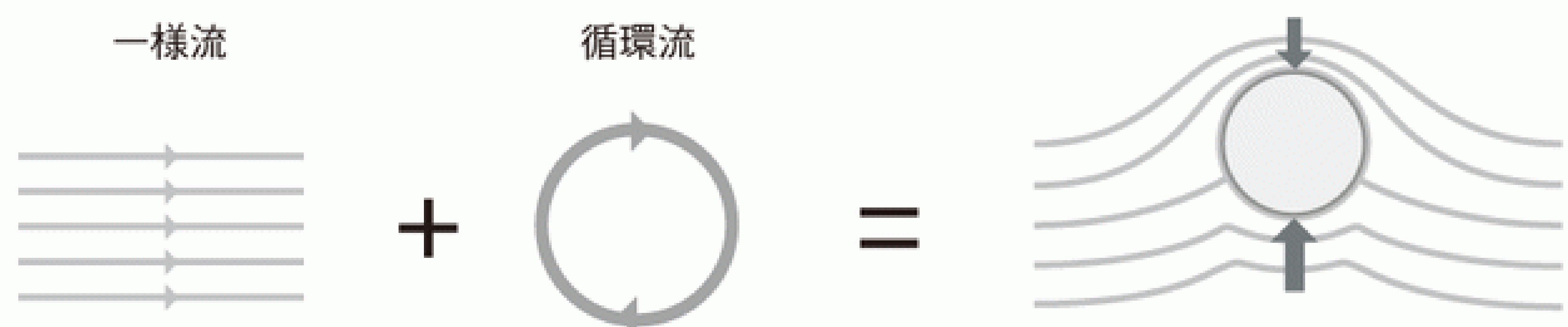
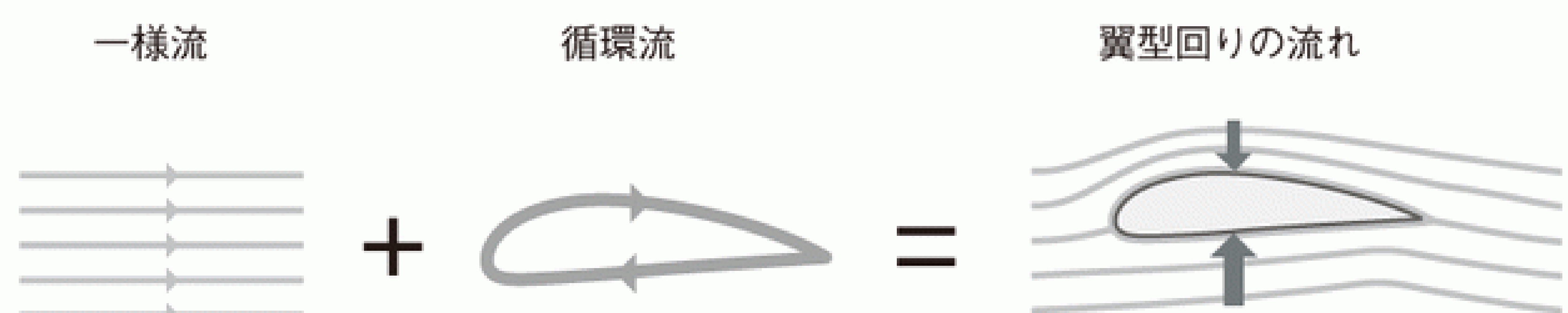


図4-4-2　翼型周りの流れ場も一様流と循環流の組み合わせとみなせる



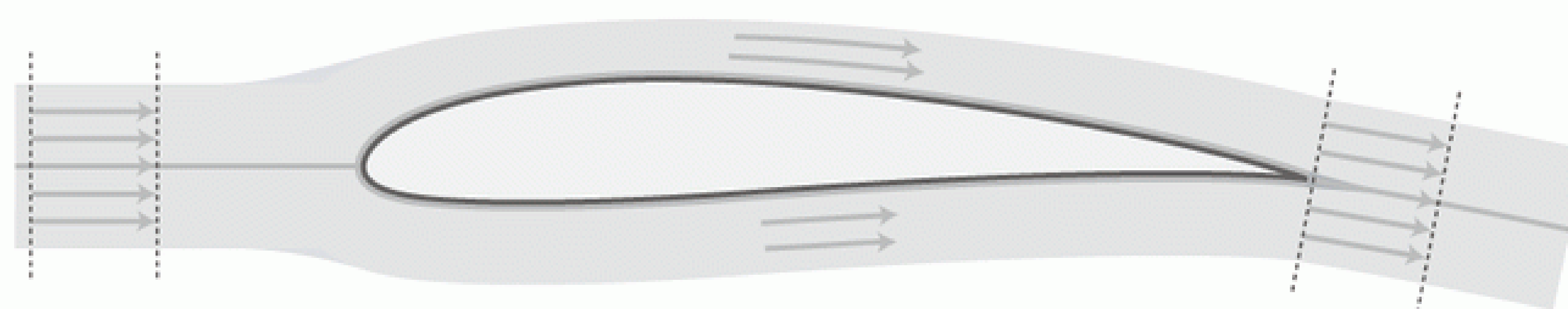
クッタの条件

クッタ・ジュコースキーの定理により、物体周りの循環が解れば、その物体に働く揚力が計算できることが解った。ただし、この定理を翼型に適応する場合には一つ注意が必要となる。それは、基本的に流体の方程式は流れが滑らかなものであるという考えの基に導かれており、尖ったものや不連続な流れに対しては、通常特別な配慮が必要となることである。

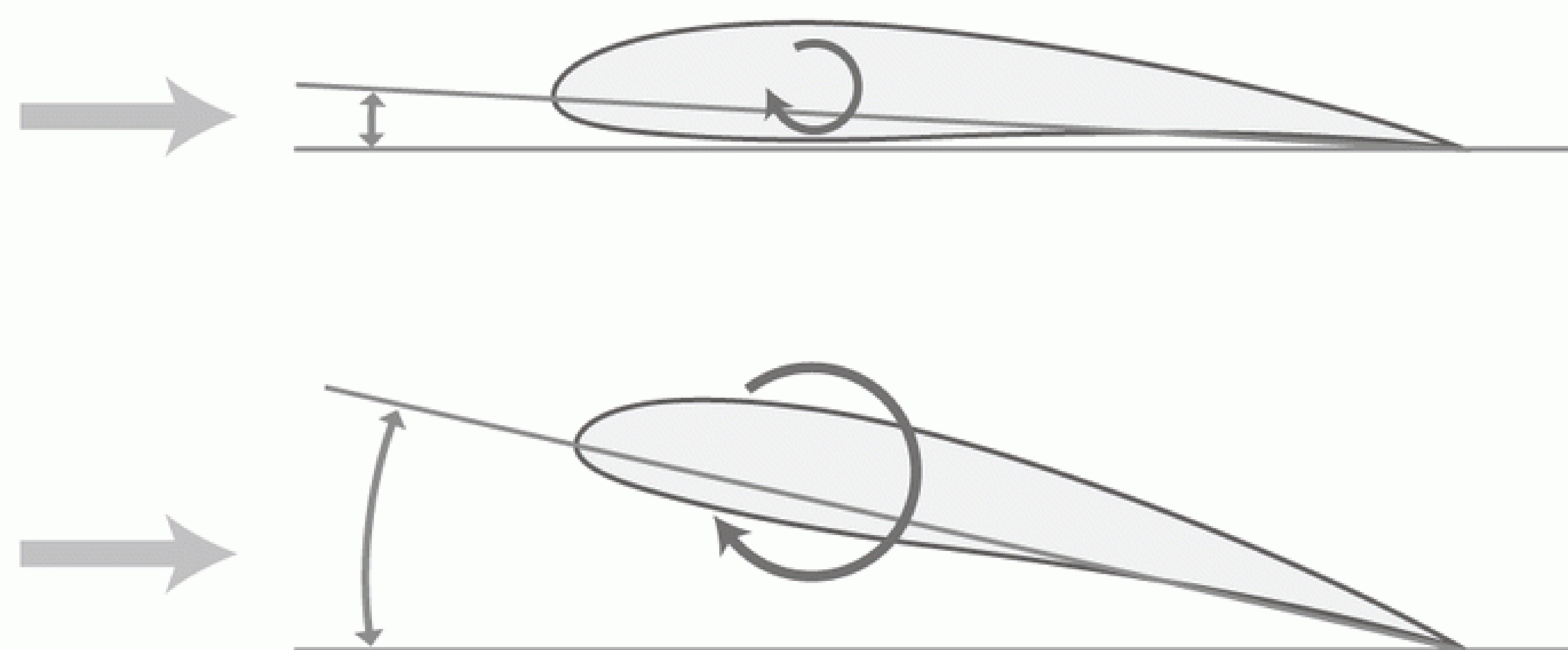
翼型を例に考えた場合、翼型の後縁ではその形状が尖っている。したがって、尖った翼の後縁では、翼型の上面の流れと下面の流れが翼型の後縁でスムーズに流れが合流するという条件を与えなければ、クッタ・ジュコースキーの定理を翼型に適応できないという制約がある。このように翼の後縁で上面と下面の流れがスムーズに合流するという条件をクッタの条件という。クッタの条件を与えることにより、初めて循環を決定することができ、揚力が数学的に求められるようになるのである。

ちなみに、流れに対して翼に迎え角をつけた場合、その迎え角が大きいほど、クッタの条件を満たすために必要な循環は大きくなる。したがって、迎え角が大きいほど循環は自然と大きくなり、その結果大きな揚力が発生することになる。これが、迎え角を大きくすれば揚力が大きくなるメカニズムである。

図4-4-3 クッタの条件と循環



クッタの条件：上面からの流れと下面からの流れが後縁でスムーズに合流する



迎え角が大きいほど、クッタの条件を満たす循環が大きくなる

4-5 プラントルの境界層理論

▶ 摩擦の影響は物体の表面近傍のみが受ける

キルヒホフやレイリーの抗力算出の試みは失敗に終わったが、成功には確実に近づいていた。ここでは、最終的にダランベールのパラドックスを解決したプラントルの境界層理論を紹介する。

プラントルの境界層理論

抗力を見積もるためには、圧力だけでなく摩擦力をどう取り扱うかということも重要となる。摩擦力を取り扱うためには、物体表面では流れがどのようになっているのかを知らなければならない。ところが物体表面では、流速は0となって流体は表面に完全に粘着しているのか？ それともいくらか速度をもって表面を滑っているのか？ といった、摩擦力を算出するうえで明らかにしなければならないことが20世紀に入っても謎のままであった。

この難題に初めて境界層の概念を導入して答えを示したのが、ルードヴィッヒ・プラントルである。彼は粘性の影響により、物体表面では流速は0となり、摩擦の影響は物体の表面近傍のみが受け、その外部では流れは基本的に粘性の影響を受ず、その流れは非粘性流体として扱えることを示した。この物体表面近傍の粘性の影響を受ける領域は現在境界層と呼ばれている。

プラントルは1904年に「非常に低い粘性を持つ流体の運動に関して」と題したわずか8ページの論文に初めて境界層の概念を発表した。彼はナビエ・ストークス方程式を境界層という特殊な流れにのみ適用し、簡略化したナビエ・ストークス方程式である境界層方程式を導いた。これは完全なナビエ・ストークス方程式よりもはるかに扱いやすく、理論的かつときに精度のよい抗力の計算を可能とする。さらに、彼の境界層理論により、流れが剥離する位置もある程度予測できるようにもなった。

こうして、ダランベールのパラドクスはプラントルの境界層理論により完全に解決したのである。プラントルの1904年の論文はこのように流体力学に新たな展開をもたらし、流体力学史上最も重要な論文であるとみなされている。

図4-5-1 翼型表面の境界層の速度分布。境界層の範囲は、物体表面近傍の外部の流速の99%以下の領域であると定義されている

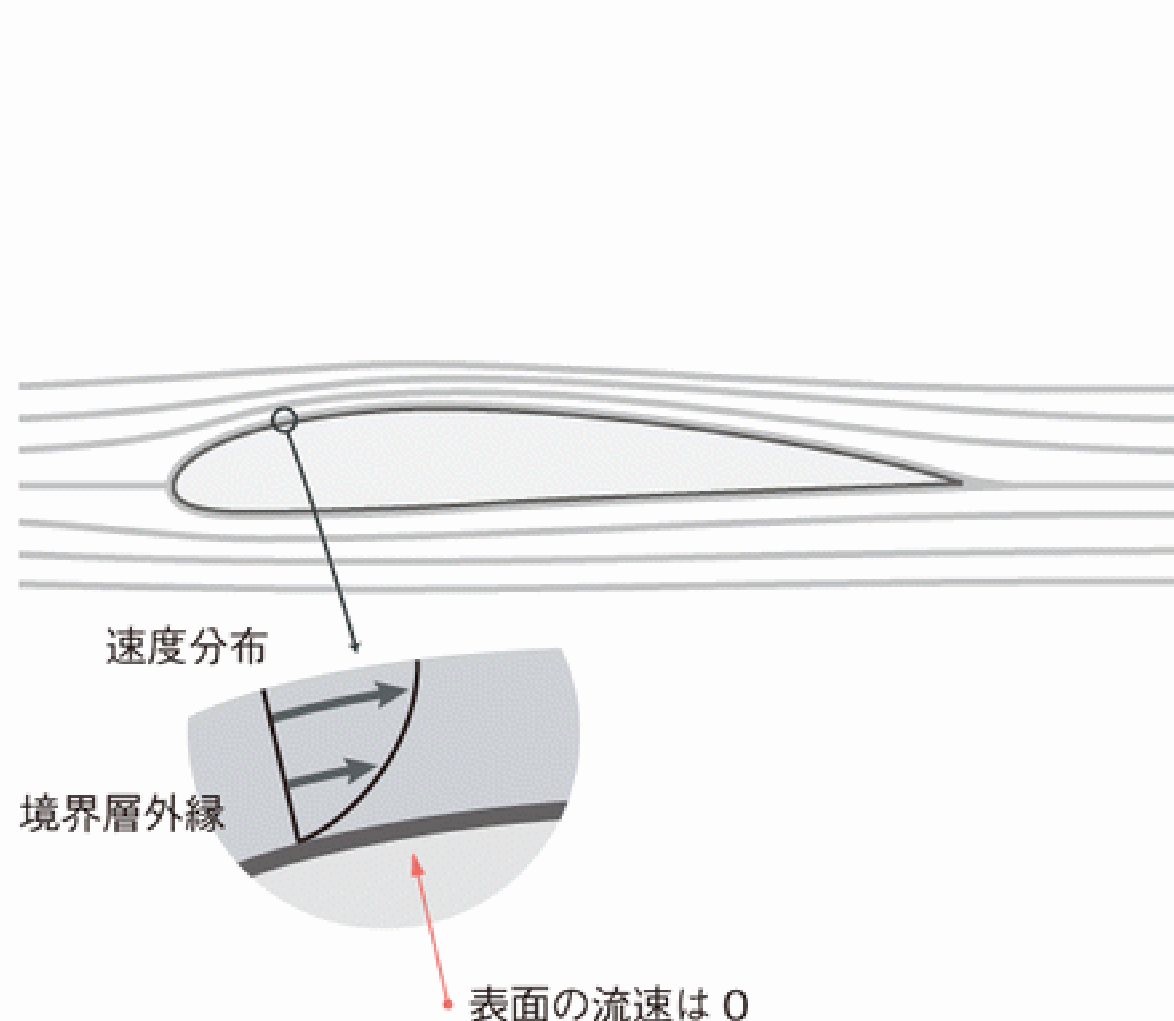


図4-5-2 翼型の剥離と剥離点の境界層の速度分布

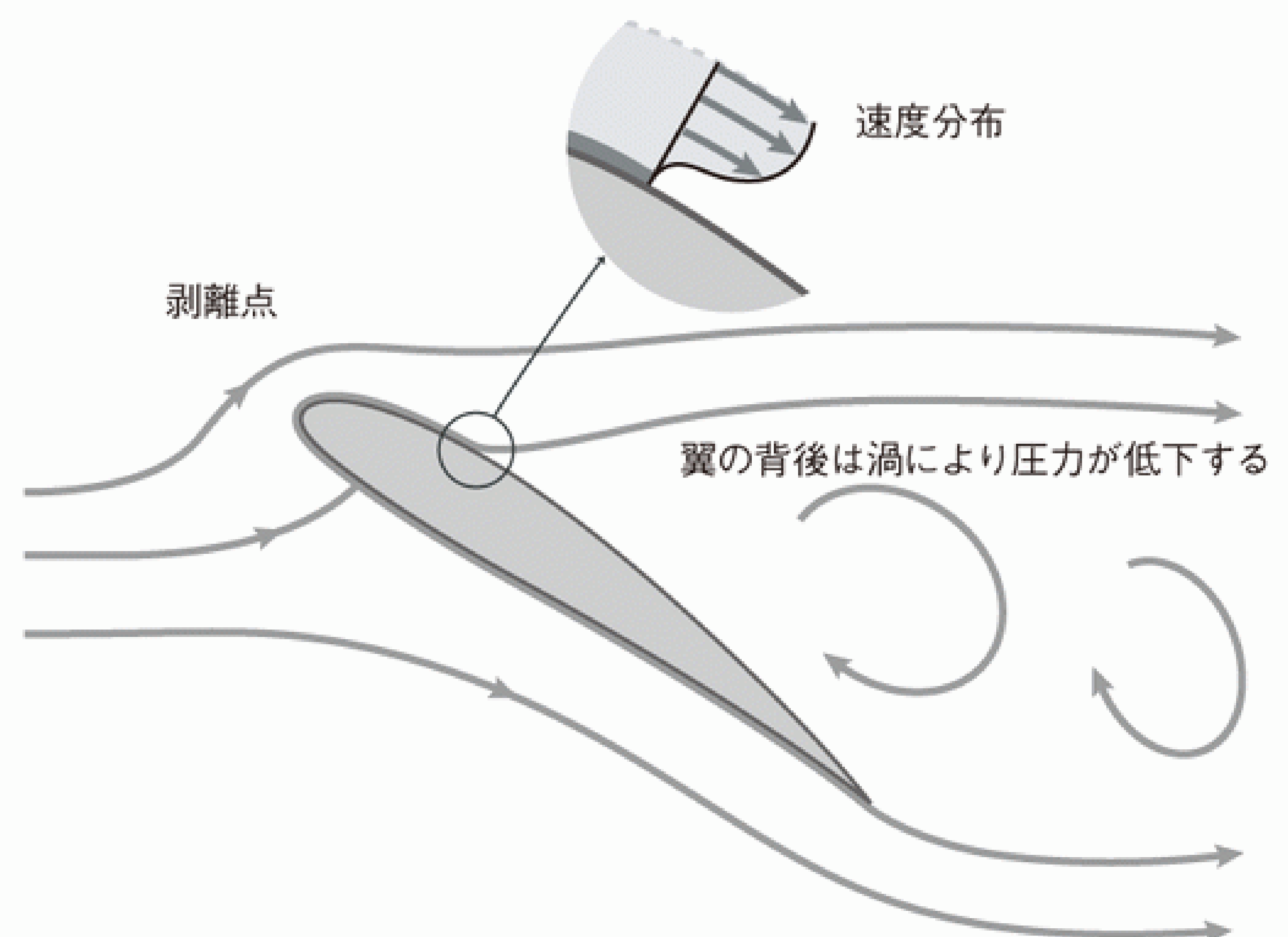
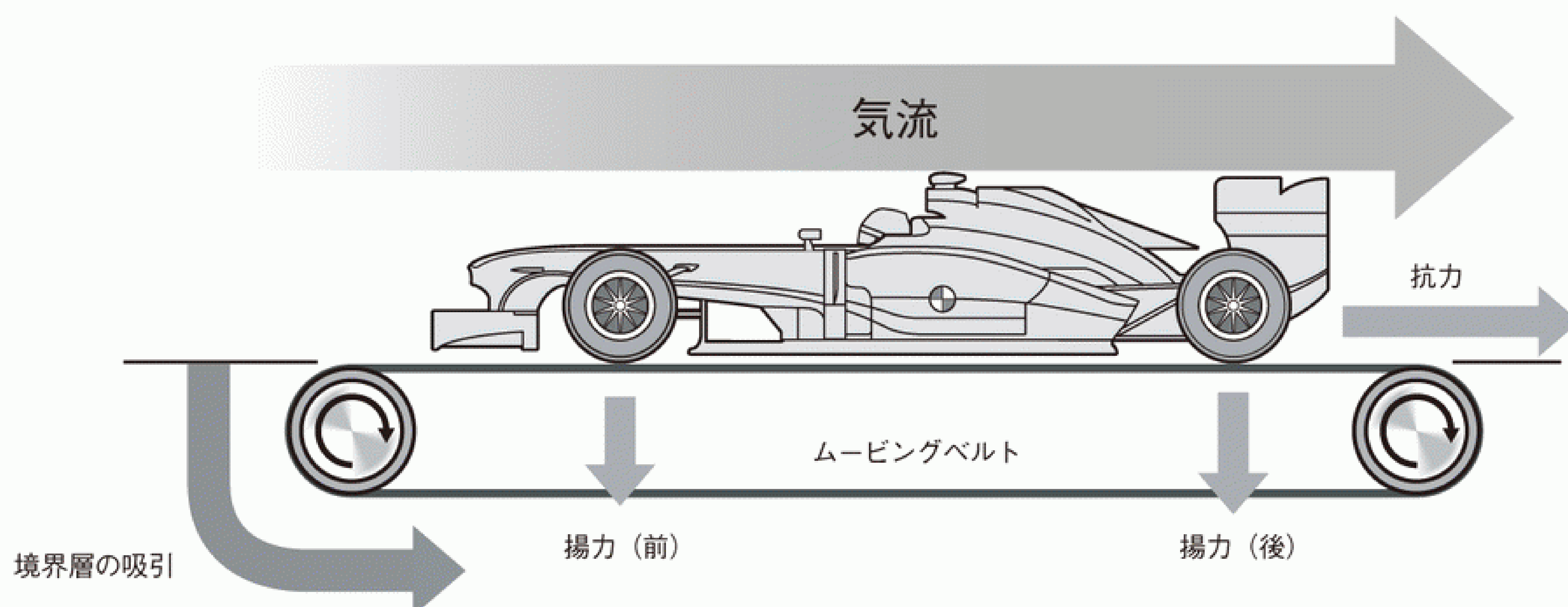


図4-5-3 地面の上を走行する乗り物は、地面がその空力に大きな影響を与える。クルマが実際に走行するとき、地面近傍に境界層が発生することはないが、風洞実験においては風洞の壁に境界層ができる。境界層は流れが遅い領域なので、車体下では実質的に流路をブロックする作用をもたらし、実際の走行中のクルマ周りの流れ場と異なる流れ場を作る。特に車体と地面の間からダウンフォースを発生させるレーシングカーにとっては、これが非常に大きな問題となるため、地面を模したムービングベルトが風洞に必要となるのである。以上のように、ムービングベルトは、タイヤの回転を再現するためだけのものではなく、風洞壁での境界層の発生を防ぐためのものなのである



TIPS 境界層とは物体近傍の粘性の影響を強く受ける層のことであり、プラントルはもともとそれに対して「境界層」と「遷移層」という二つの用語を使っていた。彼自身は特に後者を頻繁に使用していたが、プラントルの学生たちが「境界層」を常用するようになり、現在では「境界層」という用語のみが残っている。

TIPS プラントルの流体力学の発展における貢献は計り知れない。彼の功績は境界層理論の他にも、揚力線理論、乱流の混合距離の仮説、超音速衝撃波の理論、など現在の流体力学の骨格を形成する重要な理論を次々と導き出した。さらに、彼のもとからはブラウジウス、カルマン、ベッツ、ムンクといった流体力学の歴史に名を残す優秀な流体学者が多く輩出された。



4-6 プラントルの揚力線理論

▶ 有限翼に発生する翼端渦の問題

クッタやジュコースキーにより揚力の循環理論が誕生し、二次元的流れの中での揚力を正確に計算できるようになった。しかし、実際の翼の周りの流れは一般的に三次元的であり、二次元的流れの翼型の理論をそれにそのまま適応することはできない。したがって、三次元的な流れ場にある翼の揚力理論の構築が必要となる。

有限翼幅翼周りの流れの様子

これまでにも翼型という言葉が出てきたが、翼型とは無限に長い翼幅を持つ翼であるとも言える。このような無限翼幅翼は翼幅のどの場所でも循環は同じ大きさであり、揚力は一定である。したがって無限翼幅翼にはクッタ・ジュコースキーの定理を直接適応することができる。

しかし、実際の翼の翼幅は有限である。そのため翼端において、流れは圧力の高い下面から圧力の低い上面へ流れようとするため、翼面の圧力分布は無限翼幅翼とは異なり、翼端に近くなるほど、揚力は低くなってしまう。さらに、このように翼端を高圧側から低圧側へ回り込んだ流れは縦渦となり、下流へ流れていくことになる。このように翼端を起点に発生する渦を翼端渦という。

図4-6-1　有限翼幅翼周りの流れ

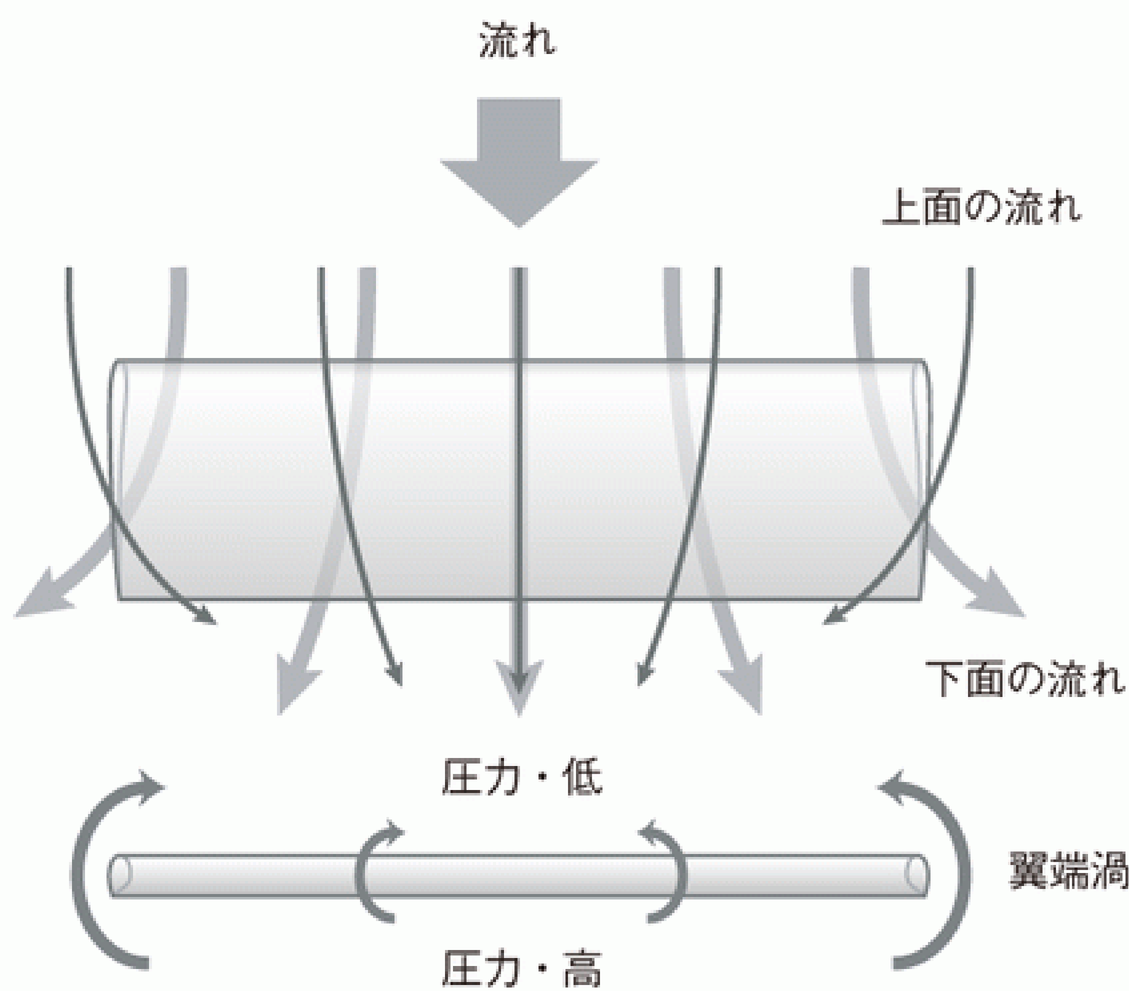


図4-6-2　無限翼幅翼と有限翼幅翼の循環と揚力

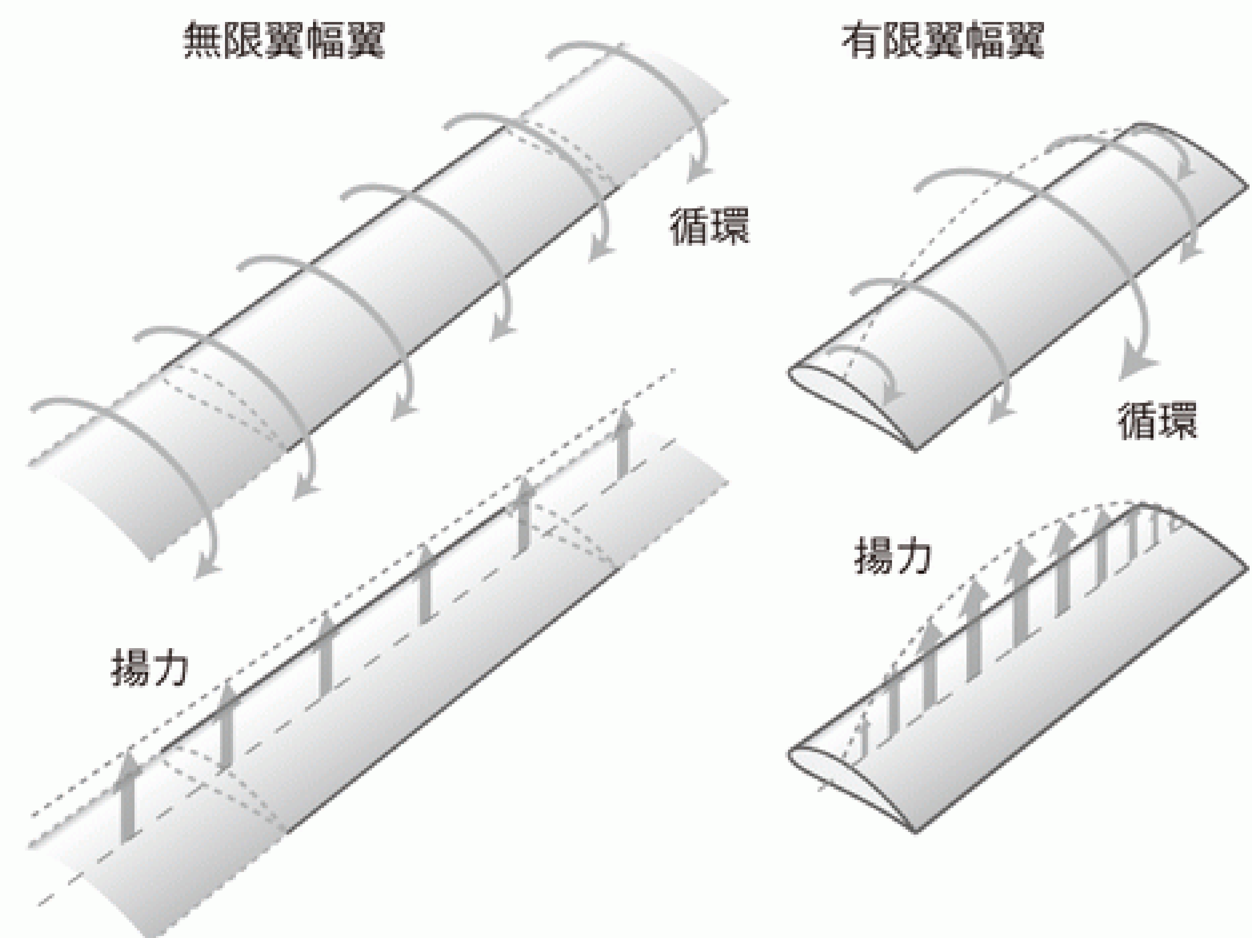
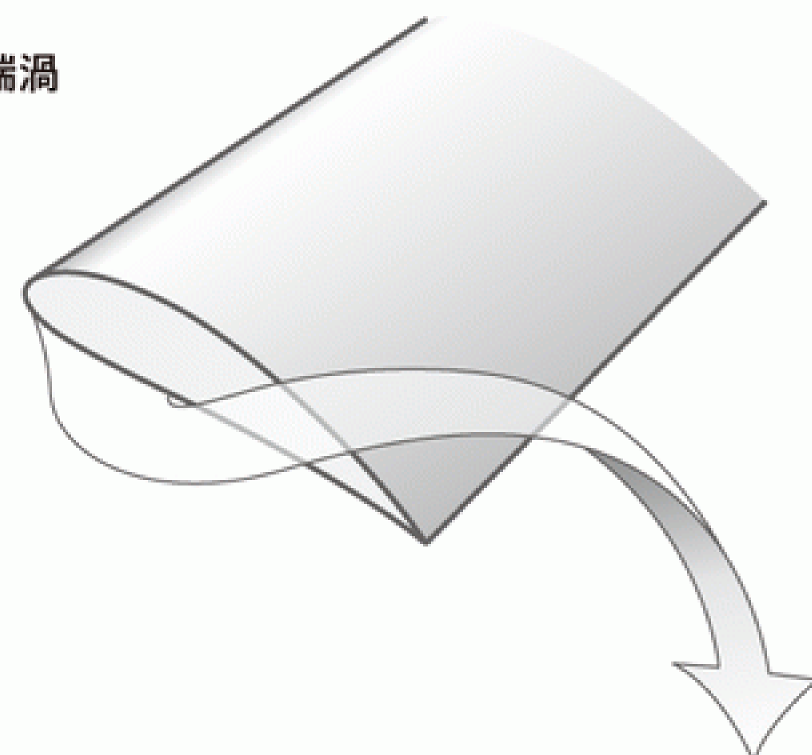


図4-6-3　翼端渦



プラントルの揚力線理論

イギリスのランチェスターは、有限翼幅翼の周りの流れをヘルムホルツの渦糸の概念を用いてモデル化した。彼は翼の周りは渦糸によって循環が作り出され、その渦糸が翼端で下流方向に折り曲げられ、新たな循環が現れると考えた。つまり有限翼幅翼周りの流れは、「上流側の一様流」、「翼端方向に並んだ渦層」、「翼端から下流に向かって伸びていく渦糸の束」から成ると考え、これらの流れを合成すれば、有限翼の揚力が求められると考えた。しかし、彼はこれに数学的に厳密な表現を与えることができず、彼の理論は学術的に認められることはなかった。

結局、有限翼幅翼の理論を初めて完成させたのは、境界層理論を提唱したプラントルである。プラントルの提唱した有限翼幅翼の揚力理論はランチェスターの考案したモデルと酷似していたが、彼はそのモデルに厳密な数学的表現を与えるというランチェスターが達成できなかった作業に成功した。

プラントルは無限に弱い渦糸を翼幅方向に無限個束ねたものを翼面に配置し、それぞれの渦糸は下流へ折り曲げられるモデルを考案した。この無限に弱い渦糸を揚力線と呼ぶ。

プラントルの揚力線理論により、有限翼が発生できる揚力やモーメントの算出が可能となった。また、翼端渦に起因する吹きおろしによる抗力である誘導抗力の存在が明らかとなり、翼幅(アスペクト比)が大きい翼ほど誘導抗力が小さくなることが理論的に解明された。

TIPS
翼端渦は図4-6-1のように、圧力の高い下面から圧力の低い上面へ流れが起こるために発生する。翼端渦が発生するには絶えずエネルギーが必要となるが、結局、このエネルギーはエンジンから来ているので、無駄な燃料消費となる。実際に、翼端渦は吹きおろしにより翼の圧力場に影響を与え、圧力による抗力を発生させている。これは揚力により流れが誘導されるために発生する抗力なので、誘導抗力と呼ばれている。さらに、この翼端渦によって、揚力が減少することもプラントルは指摘している。これは、渦の吹きおろしによって、実質的な迎え角(有効迎え角)が小さくなるからである。(図4-6-5)

翼端渦を防ぐために生み出されたのが翼端板だ。翼端板は翼の負圧面と高圧面の流れを分け、翼端での流れの旋回を抑えるための空力デバイスである。ただし翼端渦は翼だけから発生するものではない。翼から翼端渦が発生するメカニズムと同様に、主流方向に対して垂直方向に圧力勾配があれば、その圧力勾配に沿って流れが起こり、その結果縦渦ができる。したがって、クルマの車体からも翼端渦と同様の縦渦が発生し、抗力を生む。例えば、図4-6-6のようにクルマの後流にできる渦は典型的な縦渦である。

図4-6-4　揚力線理論の概念図

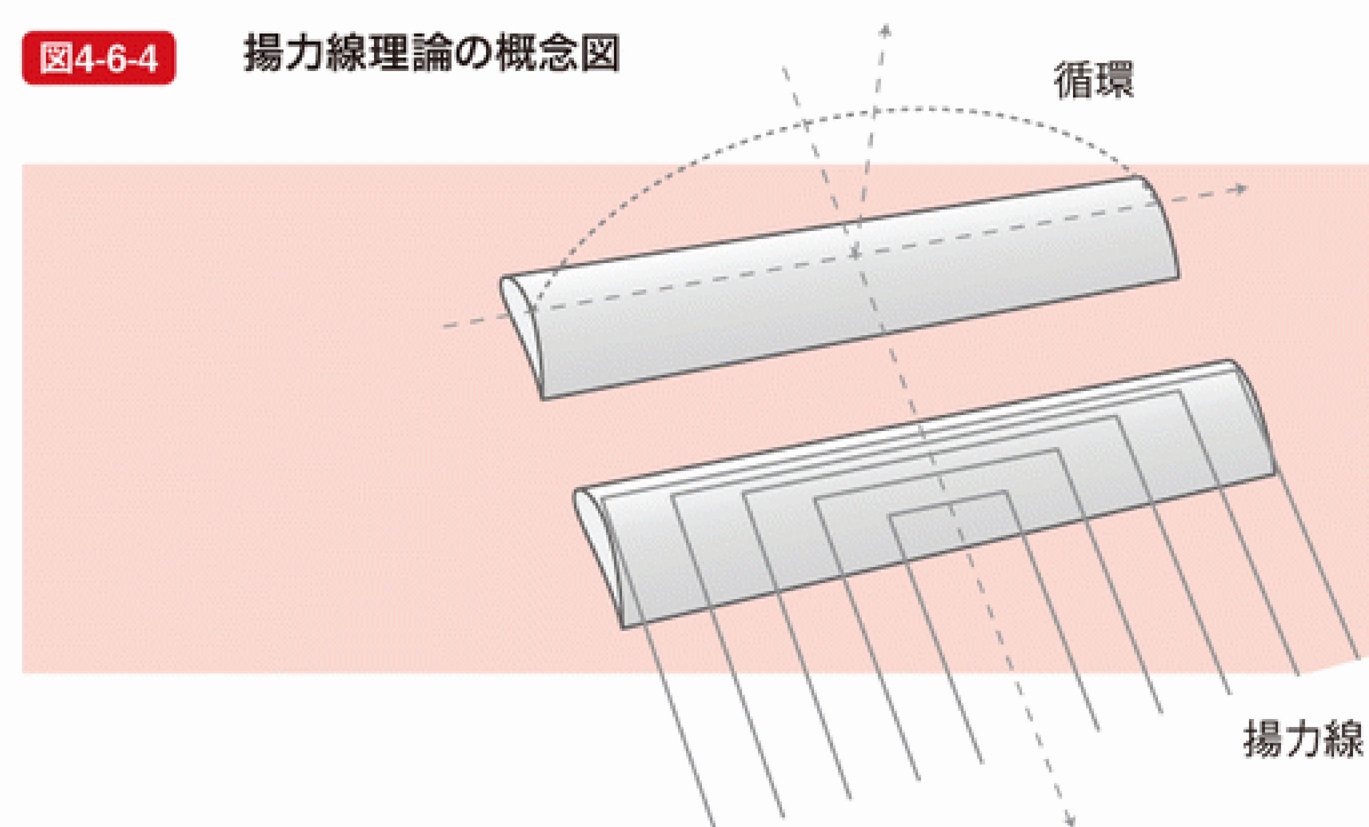


図4-6-5　有限翼幅翼周りの流れ場

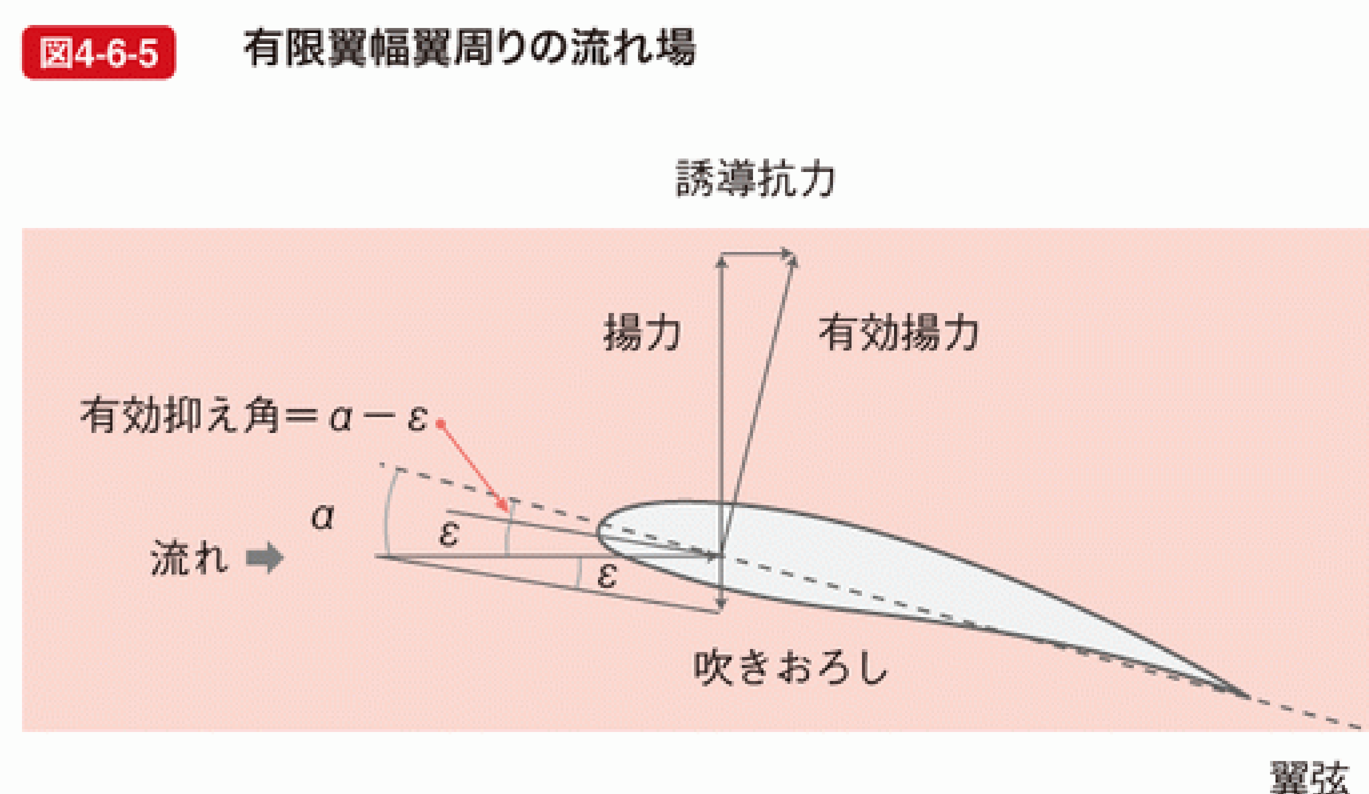
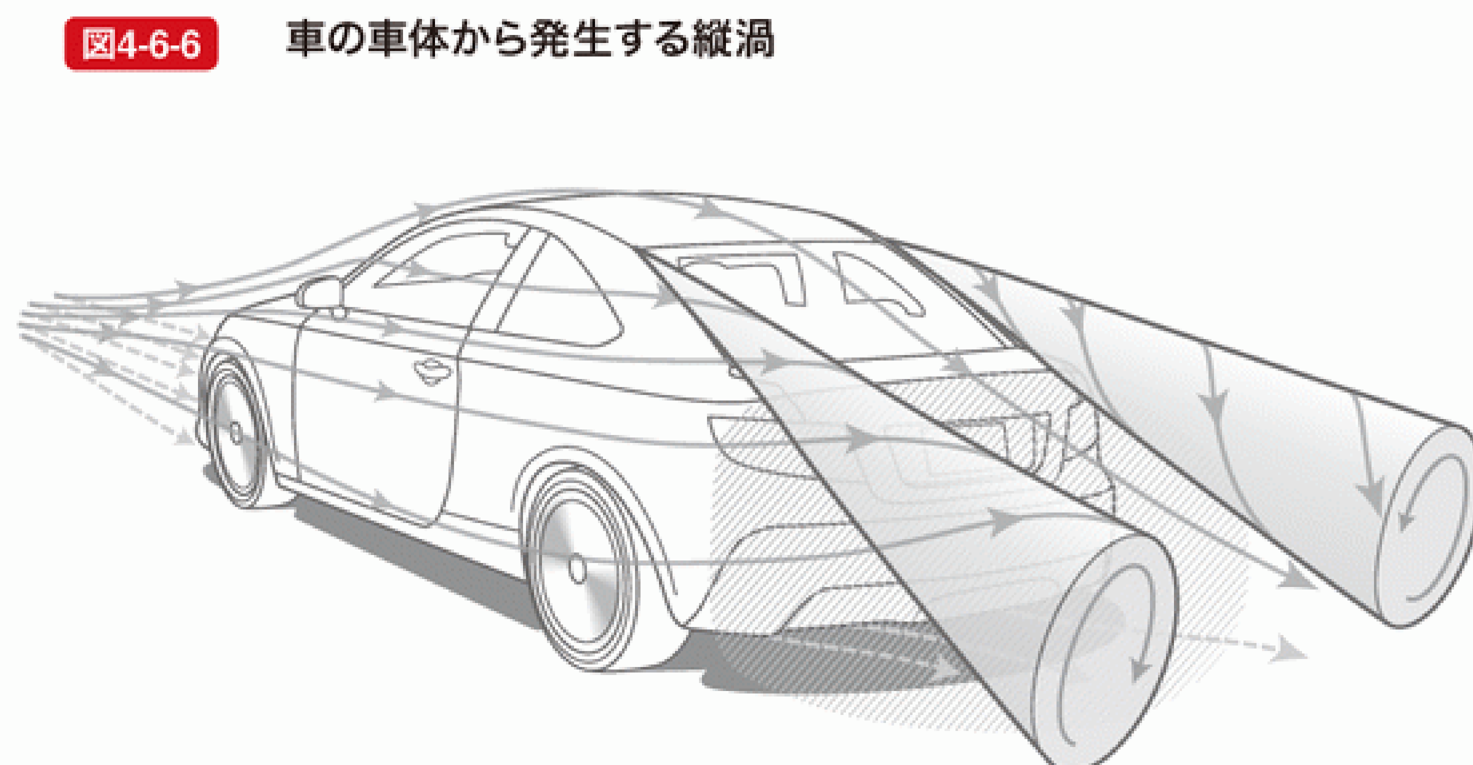


図4-6-6　車の車体から発生する縦渦



5-1 CFDの世界

▶ CFDの世界は離散化された世界である

前項では空気力学の理論を紹介したが、それらはナビエ・ストークス方程式を回避するための策だった。しかし、より正確な流れ場を知るためにはナビエ・ストークス方程式といった流体の方程式を解く必要がある。このような背景から、流体の方程式をコンピュータで数値的に解く手法が進歩してきた。これが"Computational Fluid Dynamics" (計算流体力学、数値流体力学) であり、通称CFDと呼ばれているものだ。CFDは今や自動車開発に欠かせないツールであるが、その仕組みは一般の人達にはほとんど知られていない。そこで、CFDに関する理論の概念を簡潔に紹介しよう。

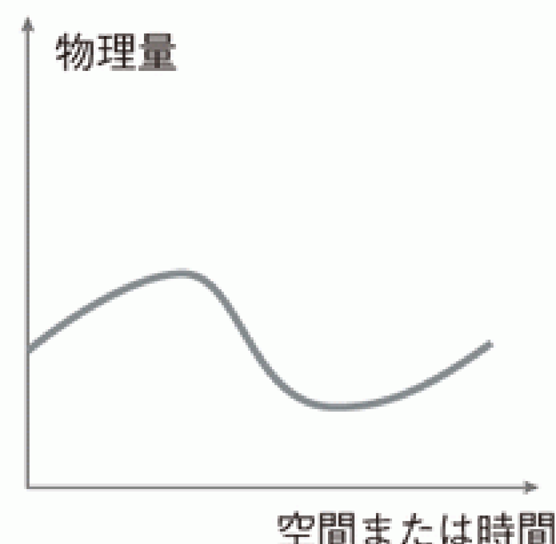
近似

現実の世界はアナログである。つまり滑らかに連続していて、どの時間からどこの空間の一点を取り出してきても、何らかの物理的な情報がそこには存在する。一方コンピュータはデジタルであるから、不連続なとびとびの値しか扱えず、限られた情報しか保持できない。そのためCFDでも、本来滑らかであるはずの時間や空間を分割して、不連続なものとして扱わざるを得ない。とはいえCFDの世界でも、できる限り現実世界に近い滑らかな世界を表現したい。したがってコンピュータが持たない情報をモデル化して補完してやることになる。

ではその情報のない部分を補完する方法とはどのようなものか。単純にコンピュータの持つ情報を直線でつないで、情報のない部分は直線的に変化するものと考えてもよい。もしくは曲線をモデルにして情報のない部分は曲線的に変化するものとして補完してもよい。このように正確には本来のものとは異なるが、そのものの性質を失わない程度に単純化することを近似といい、それにより得られる本来の値に対して十分に近い値を近似値という。CFDでは以上のような近似手法をスキームと呼ぶ。

図5-1-1 現実世界とCFDの世界の違い

●現実の世界
全空間、全時間に情報がある



● CFDの世界
限られた空間と時間しか情報がない

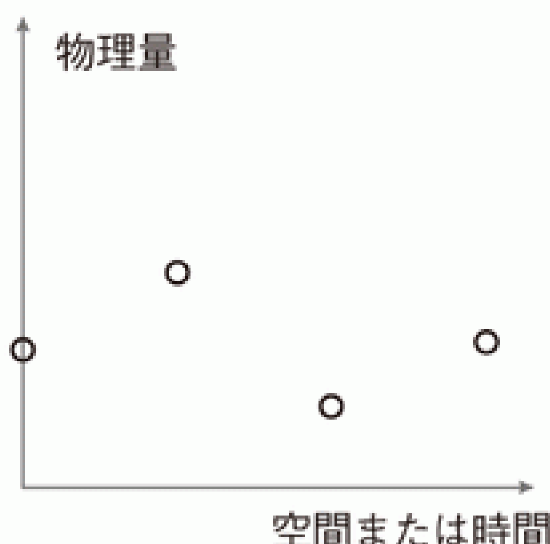
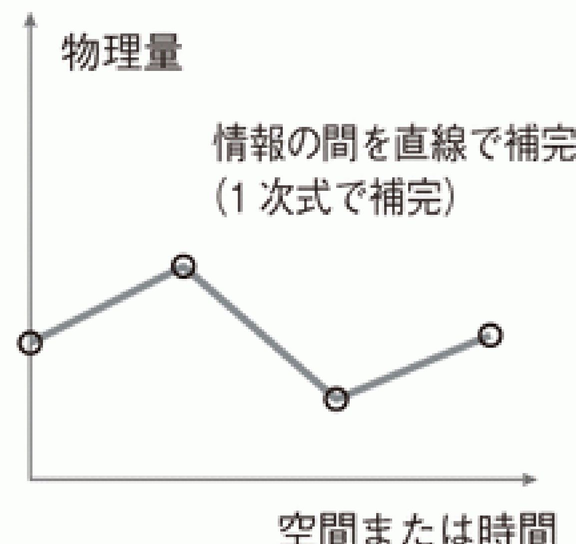
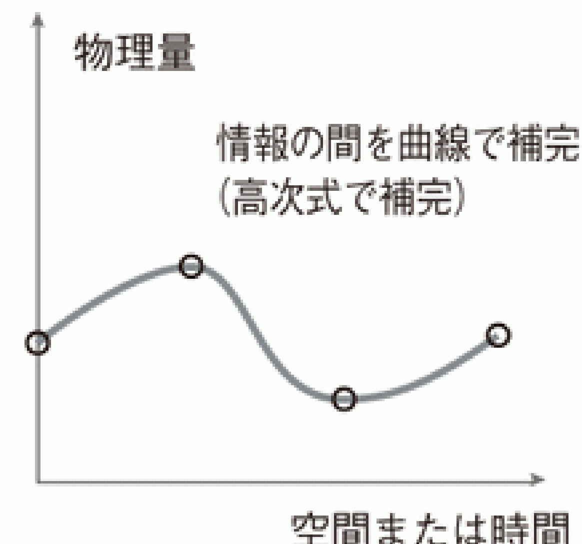


図5-1-2 コンピュータが持たない情報を補完する

CFDの世界で現実世界を再構築するためにはコンピュータが持たない情報を補完するスキームが必要





Laxの同値定理

コンピュータに現実世界のすべての時間と空間の情報を持たせることはできないので、CFDによって得られる計算結果は近似値でしかない。しかしそうは言っても、真の値からの誤差が十分に小さければ、実用上問題は起こらない。例えばある流れ場での平均流速が30m/sだったとしたとき、通常0.000001の桁の値を気にしても意味がない。30m/sと30.000001m/sは、流れを解析する者からすれば、実質的に同じ値であるとみなせる。したがって、流れを解析する人にとって扱うのに意味のないほど小さな桁の値は無視すればよく、シミュレーションによって得られた結果に含まれる誤差も、必要とする精度よりも小さければよいのである。これを少し専門的に言い換えると、シミュレーションの計算結果が真の値に「収束」していればよい、という。

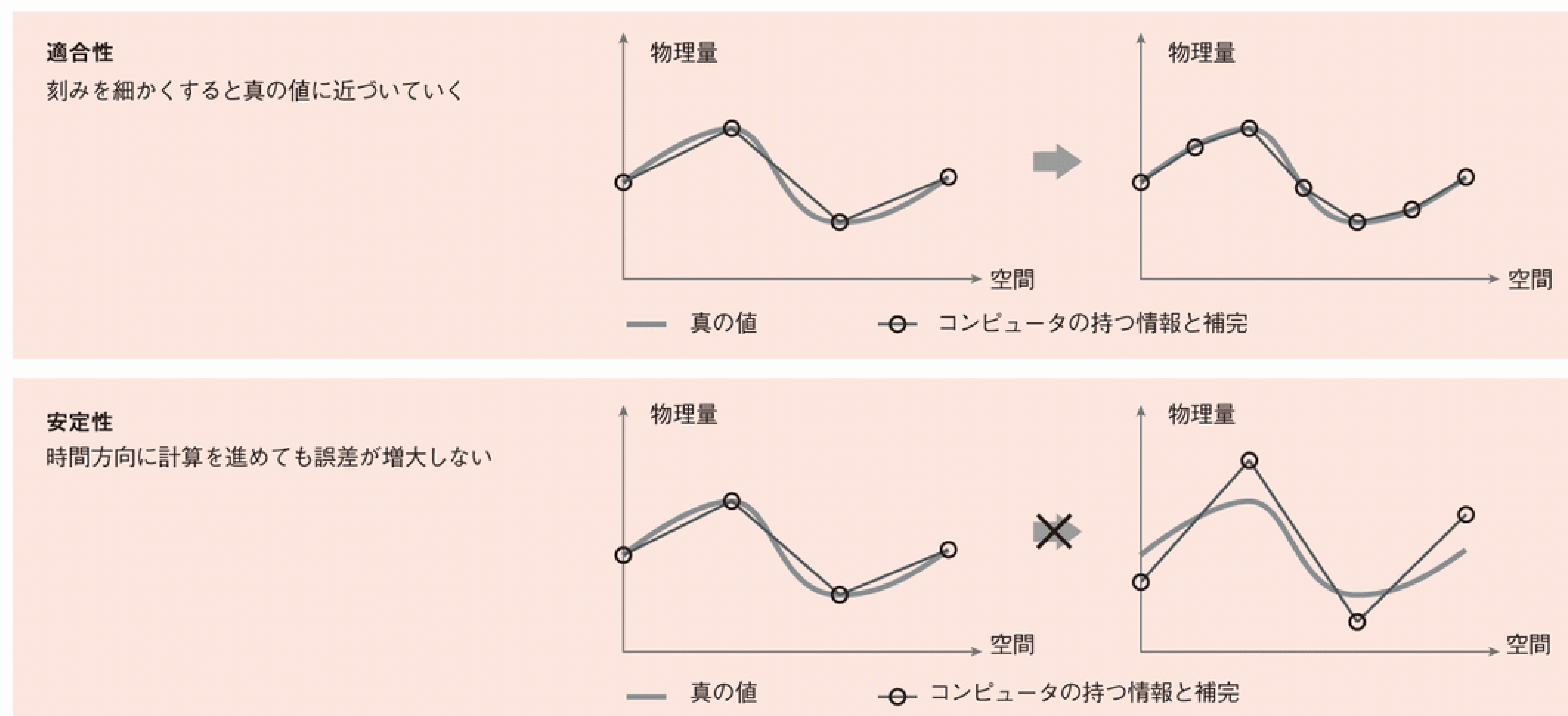
ここで、重要な定理を紹介しよう。それは、ペーター・ラックスにより証明されたLaxの同値定理と呼ばれるものある。この定理は、「収束する唯一のスキームは安定で適合するスキームである」ということを述べている。つまり、「安定性＋適合性＝収束性」、という関係がLaxの同値定理であると言ってよい。「適合性」、「安定性」の意味は図5-1-4を、「収束性」の意味はTIPSを見てほしい。

図5-1-3



TIPS 「収束する」とは、空間の刻みを細かくしていったならば、時間方向に計算を進めていっても、計算の誤差をいくらでも小さくできることを意味する。CFDを行う場合、どのようなスキームを用いても良いのではなく、適合性と安定性を満たすスキームを用いなければ、計算は収束せず、正しい解を得られない。

図5-1-4 適合性と安定性。ここでいう「真の値」とは流体の偏微分方程式を解析的に解いたときに得られる解である



5 2 有限体積法

▶ もっとも広く利用されている流体シミュレーションの手法

これまでいくつもの流体のシミュレーションの手法が考案され実際に活用されてきたが、ここでは現在最も広く使用されている有限体積法という手法を紹介しよう。

有限体積法の考え方

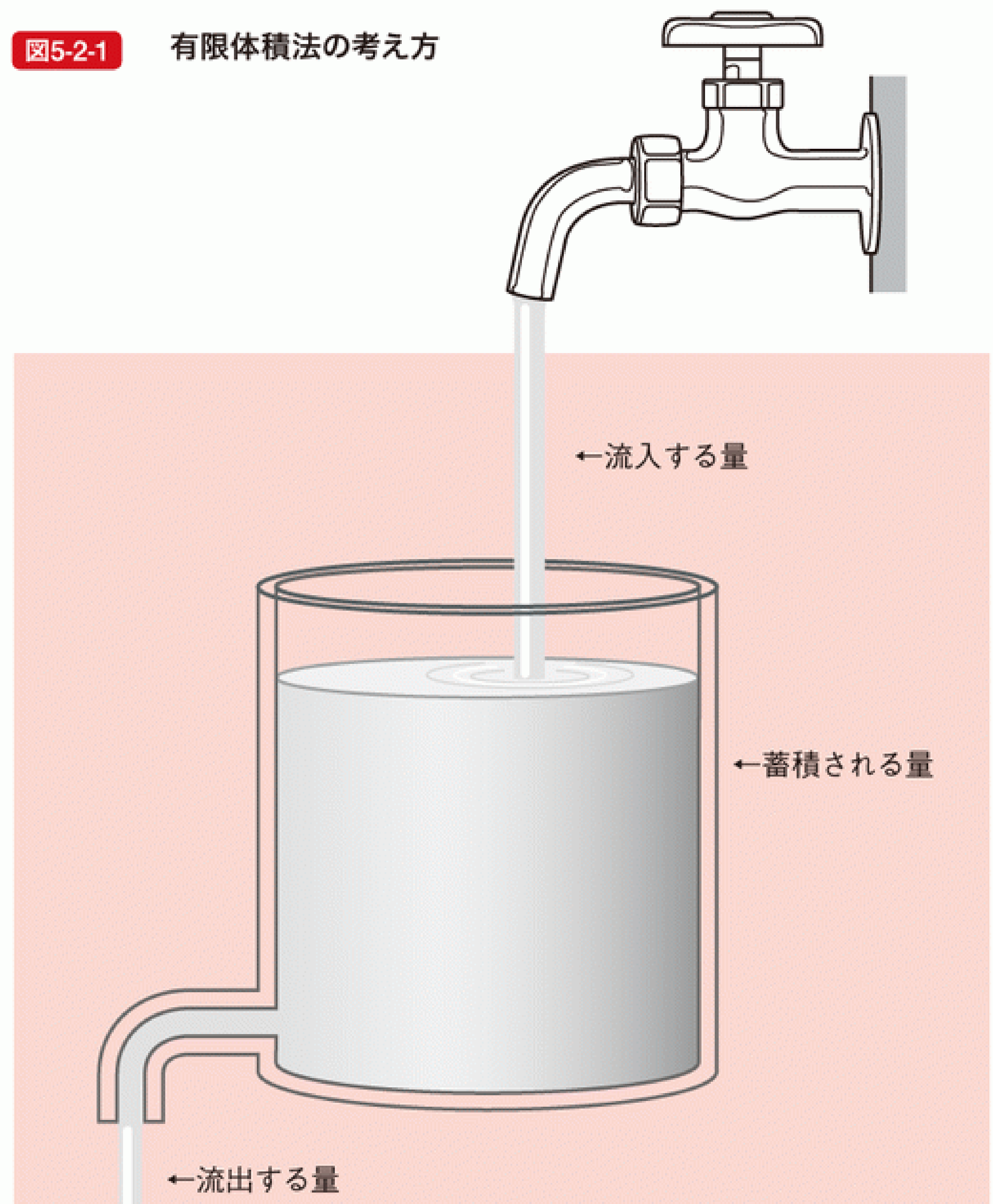
有限体積法では、分割した個々の空間要素に対して流入する量と流出する量のバランスに注目する。例えば、ある容器に出入りする水の量を考えよう。ある瞬間から1秒後にその容器にはどれだけの量の水が入っているかを知るには、

1秒後に容器内にある量＝もともと入っている水の量+1秒あたりの流入量-1秒当たりの流出量

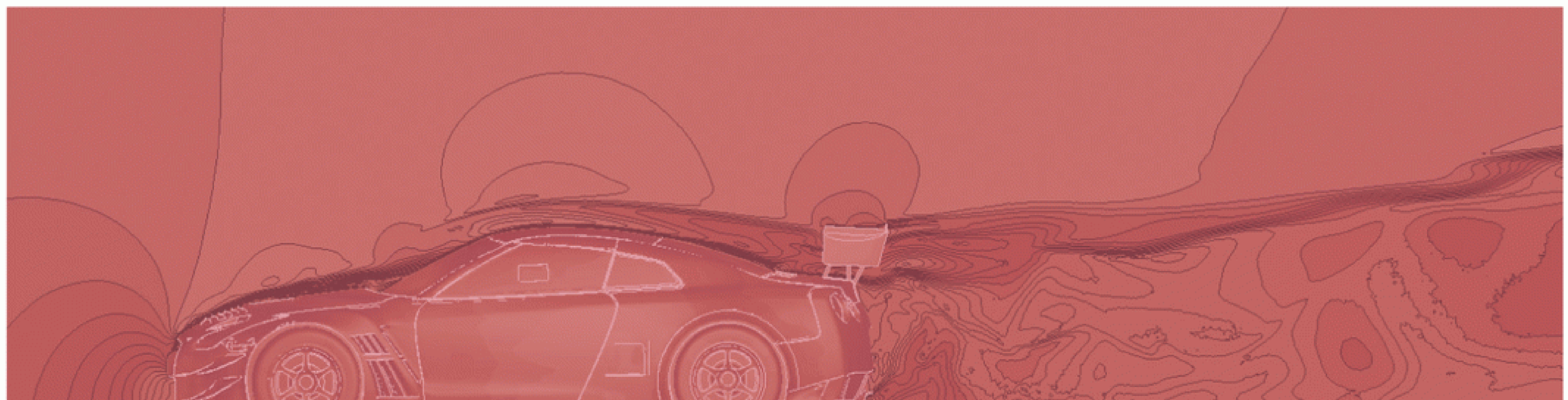
と計算すればよい。このように現在の水の量と出入りする水の量から、未来の水の量を予測するのが有限体積法の基本的な考え方である。実際の流体のシミュレーションでは流体の量だけでなく、圧力や流速といった物理量を同様の手法で計算しているのである。

TIPS 差分法や有限体積法で用いる近似（スキーム）は、テイラー展開を拠り所としている。テイラー展開は滑らかな関数を級数展開によって表現する手法と言える。ここではテイラー展開についての説明は行わないが、テイラー展開はCFD以外にもさまざまな場面で非常に重要となる数学であるから、興味があれば調べてみることをお奨めする。

図5-2-1 有限体積法の考え方



未来の容器の中にある水の量を予測するには、容器に入ってくる水の量と出ていく水の量のバランスに注目すればよい。これが有限体積法の基本的な考え方である。ただし、容器に対する流入流出量を一意に定義することはできず、何らかの方法で推測するしかない。したがって、流入流出量の推測の精度が有限体積法によるシミュレーションの精度を大きく左右することになる



数値流束

有限体積法の考え方を、もう少し実際のCFDに沿って具体的に見てみよう。まず図5-2-2のように空間を細かく分割する。このように分割された空間を格子(あるいはグリッドやメッシュ)という。この格子の間を流れる流体を考えてみよう。

まず、ある時刻にそれぞれの格子(空間)が持つ物理量が分かっているとする。そして、これらの情報から未来の格子が持つ物理量を、単位時間あたりに流入流出する量から予測するのが、有限体積法による流体のシミュレーションである。

それでは各格子に単位時間あたりに流入流出する量はどのように決定されるのか。

実はこれらの流入流出量は、現在の物理量の分布からもっともらしい値を、CFDを行う者が何らかの方法で推測(近似)しなければならない。つまり、これらの量を決定する方法には選択の余地があり、単位時間当たりの流入流出量は一意には定義できないのである。このように、人間の選択の余地がある単位時間当たりの流入流出する物理量を数値流束と呼び、その精度が計算結果の精度を大きく左右することになる。

図5-2-2 格子を出入りする数値流束

格子 j の未来の物理量＝ 格子 j のもともとの物理量
＋ 格子 j に流入する数値流束 j −1/2
− 格子 j から流出する数値流束 j +1/2

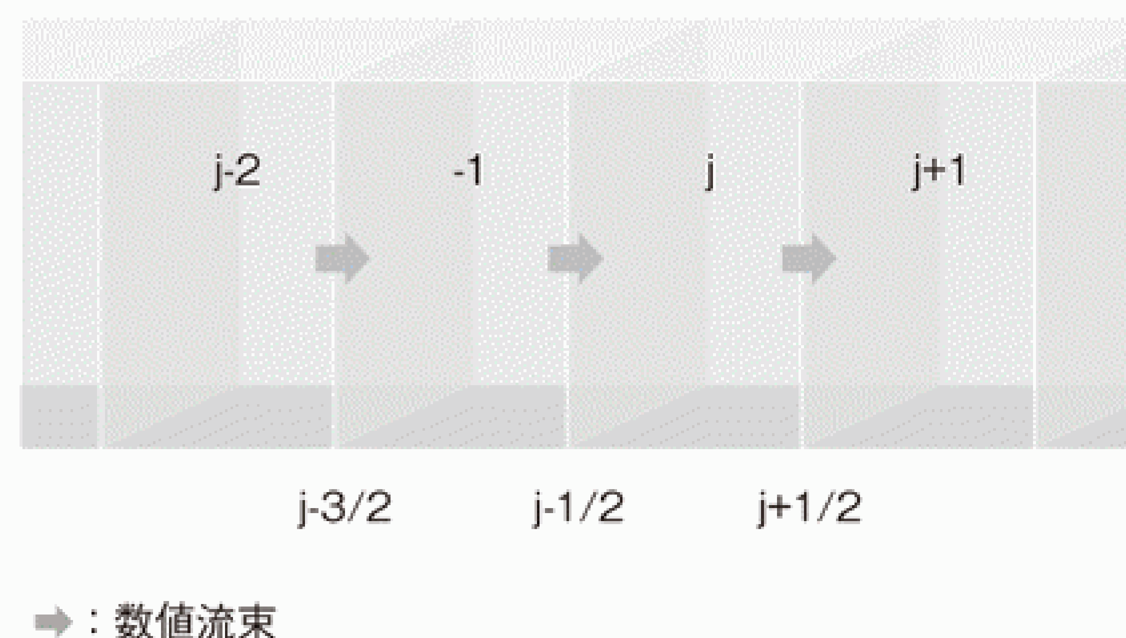
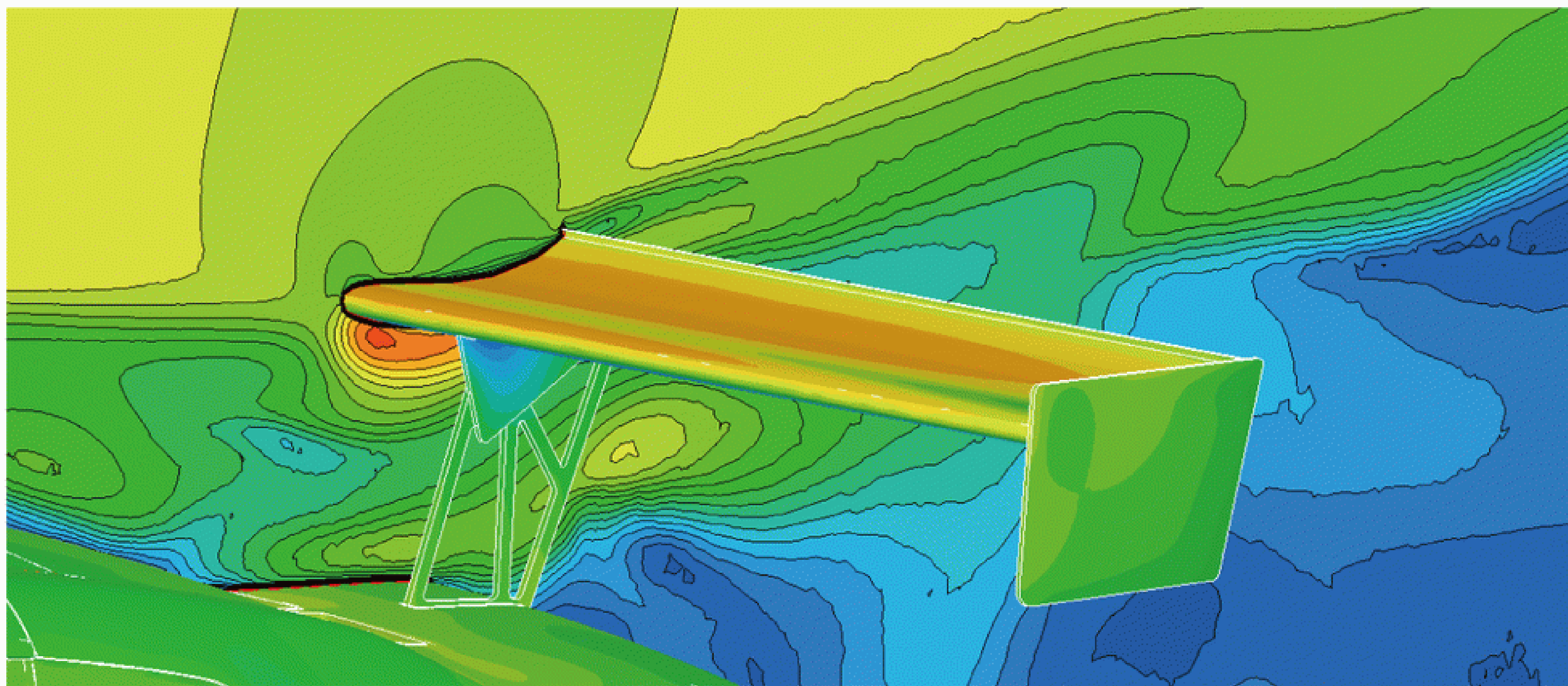


図5-2-3 レーシングカーのリアウイング周りの流れ場



5-3 スキームの特徴

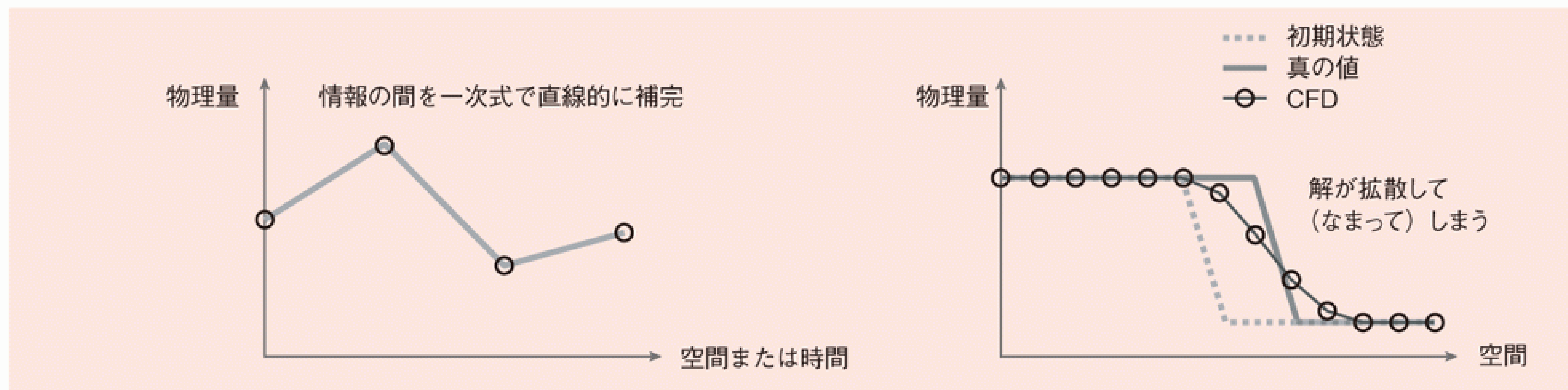
▶ 単調性と高精度は両立できない

数値流束の決め方は幾通りもあり、CFDを行う者が適切なスキームを選ばなければならない。しかし、当然どんなスキームを用いても良いわけではない。どのようなスキームを用いるかにより数値流束の精度は異なり、当然シミュレーションの精度に影響を与える。また、Laxの同値定理が示しているとおり、用いたスキームが悪ければ計算を進めるたびに誤差が増大し、計算が発散してしまうこともある。ここでは、スキームの違いが結果にどのように影響するのかを簡単に説明する。

一次精度のスキーム

コンピュータが持たない情報を補完する方法としてまず思いつくのは、そこでの物理量の変化を直線的に近似してやることである。直線的に変化するものとして一次式を用いて近似すると、そのスキームの精度は一次精度となる。一次精度のスキームは単調性を維持できるという長所があるが、解が拡散しやすいという短所がある。

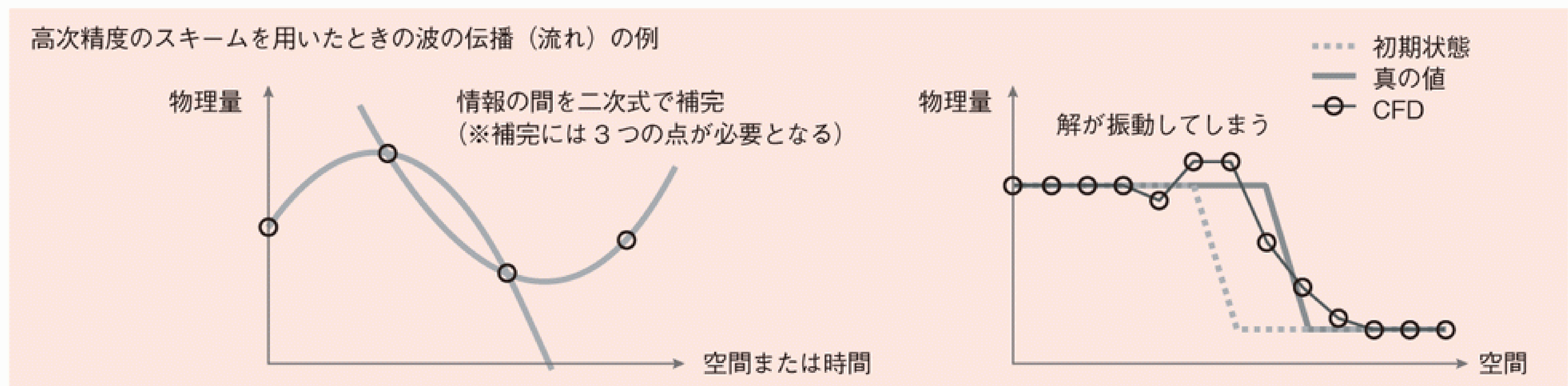
図5-3-1 一次精度のスキームと波の伝播（流れ）の計算例。一次精度のスキームは高周波の波が解像できないので解が拡散する



高次精度のスキーム

一次式で直線的に近似するのではなく、もっと多くの格子から情報（物理量）を取ってきて、高次の曲線で近似を行えば、より精度の高い結果が得られる。実際に高次精度のスキームは通常一次精度のスキームよりも解の精度はよい。しかし、高次になるほど、多くの格子からたくさんの物理量を計算に使用することになるため、必然的に計算量は増えてしまう。また、高次精度のスキームは場合によっては解が振動してしまい、逆に精度が悪くなってしまうという欠点もある。

図5-3-2 二次精度のスキームと波の伝播（流れ）の計算例。高次精度の波は周波数によって伝播する波の速度（位相）が異なるため波形が壊れる。



ゴドノフの定理

流れ場の大部分では、高次精度のスキームほど精度のよい計算結果を得やすい。しかし高次精度のスキームにも欠点がある。それは、流れの不連続面といった急激な変化の流れを高次精度のスキームを用いて計算を行うと、解が振動的になり、ときに非現実的な値や不安定性を招く恐れがあることである。このような流れ場の場合、単調性を維持できる一次精度のスキームの方がよい結果を得やすくなる。

それでは、解が振動しない高精度のスキームを用いればよいのではないか、という考えが浮かんでくるかもしれない。しかし残念ながら、スキームが「高精度」であることと「解が単調である(解に振動が出ない)」ことを両立させることはできないことが数学的に明らかにされてしまっている。これをゴドノフ(Godunov)の定理という。ゴドノフの定理によると、「高精度」と「解に振動が出ない」ことを同時に満たすスキームは存在せず、どのように工夫しても、そのような都合のよい高次精度のスキームを作成することはできない。

図5-3-3　ゴドノフの定理によると、線形波動方程式に対して、高次精度を持ついかなるスキームも解の単調性（勾配の符号が変化しないこと）を維持できない。そこで、これを解決するためにいくつかの方法が構築された。その一つが次に説明するTVD法である

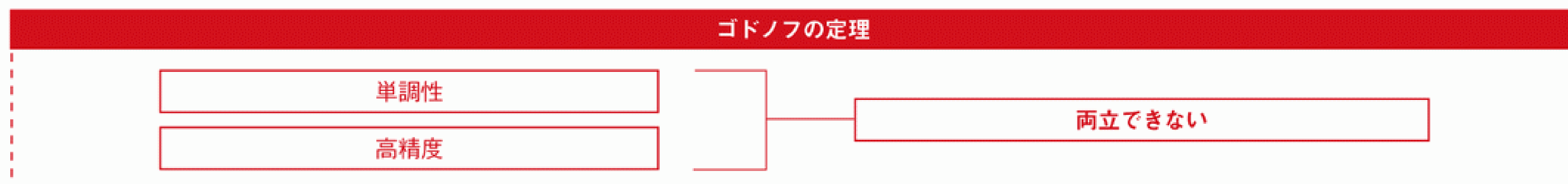
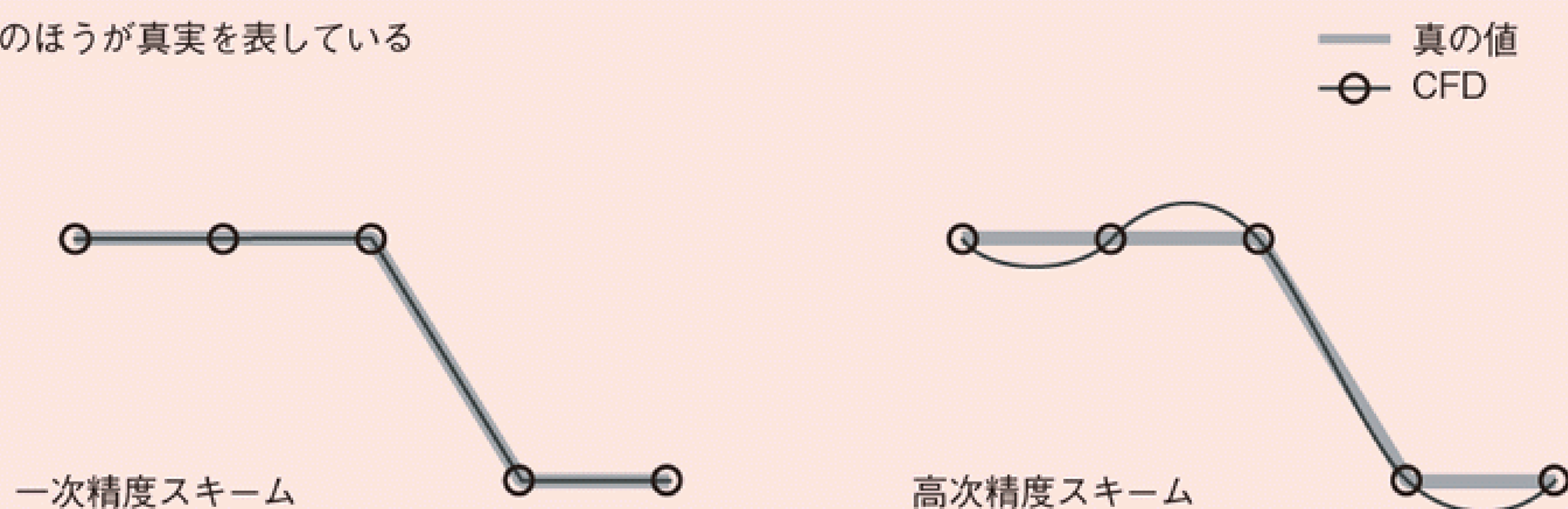


図5-3-4　不連続面のような急激な流れの変化に対するスキームの精度





5-4 1次精度と高次精度の両立

▶ 一次精度と高次精度を両立させるための工夫

ゴドノフの定理により、スキームが「高精度」であることと「解に振動が出ない」ことは両立できず、高次精度に直接どんな工夫を加えても、解が振動してしまう可能性を取り除くことはできない。そこで、解を振動させず、精度の高い計算結果を得るには別の方法を考えなくてはならない。ここではその方法について紹介しよう。

TVD法

一次精度の解は拡散しやすく、精度はあまり高くないが、解が振動することはなく、単調性を保つことができる。一方、高次精度は通常一次精度よりも精度は高いが、不連続面のような急激な変化のある流れを解く場合、解が振動的になり、ときに非現実的な値や不安定性を招く恐れがある。

このように一次精度と高次精度にはそれぞれ長所と短所がある。そこで、流れに合わせてそれぞれの長所のみを活用できればよりよい計算結果が得られるのではないか、という発想が生まれてくる。そこで、実際に考案されたのがTVD法という手法である。

TVD法はいわゆる一次精度と高次精度のハイブリッド法である。TVD法は解全体の変動が増加しないように工夫された手法であり、流れの変化の激しさを自ら判定し、大部分の流れは高次精度を用いて計算を行うが、流れが急激に変化するような場所では一次精度に切り替えて、単調性を維持する手法である。

図5-4-1 TVD法

●一次精度と高次精度のハイブリッド法
●流れに合わせて一時精度と高次精度を使い分ける

	長所	短所
一次精度	単調性	解の拡散
高次精度	高精度	解の振動

⬇それぞれの長所のみ使用したい

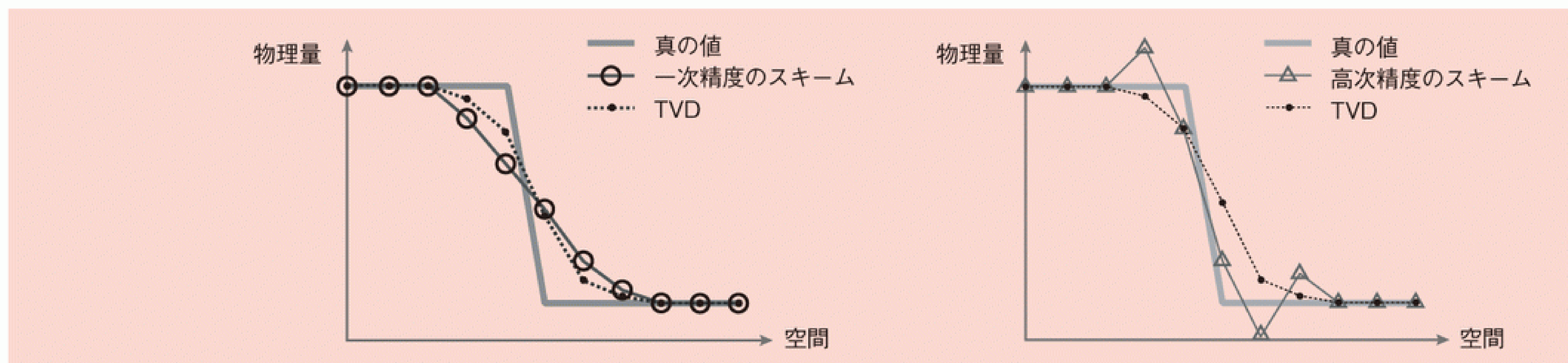
TVD法

TIPS 高次精度のスキームを用いたときに出てしまう振動を抑えるのに用いられる手法は、TVD法以外にもいくつかある。代表的なものとして、人口的に数値粘性を加えることや、MUSCL法といった手法がある。

TIPS TVD法のように流れのスムーズなところで高次精度を維持し、しかも不連続面などを鮮明にとらえることのできるスキームを一般に高解像度スキームと呼ぶ。



図5-4-2 TVDを用いたほうがより真の値に近い結果が得られる



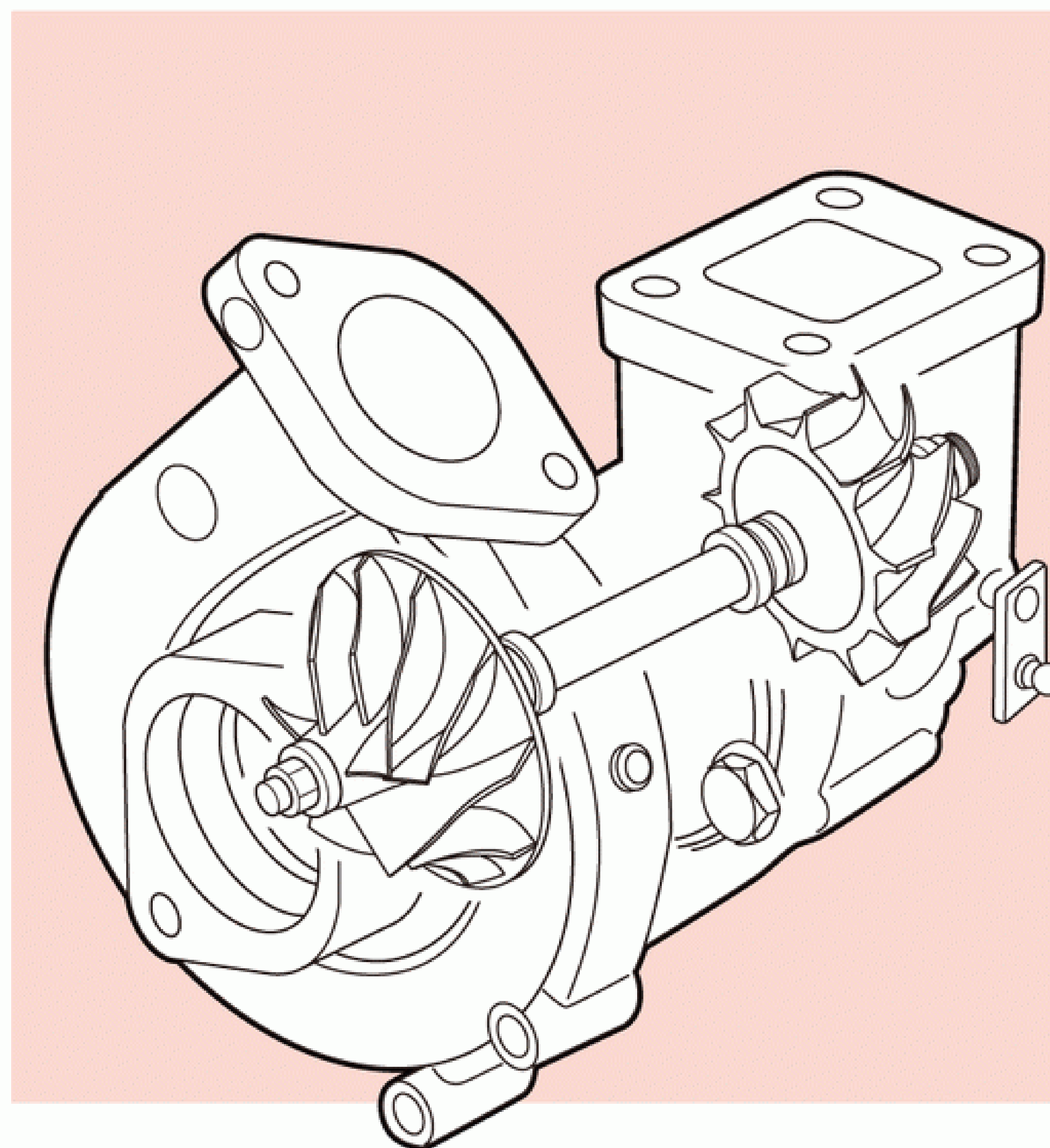
TVD法の評価

図5-4-2はTVD法の計算結果を一次精度スキームの解と高次精度スキームの解で比較した例である。TVD法は高次精度スキームのように非物理的なオーバーシュートやアンダーシュートといった振動を示さない。さらに、一次精度スキームよりも解の拡散が抑えられていることがわかる。しかも、どちらのスキームと比べても、TVD法による解は真の値(厳密解)に近いことがわかる。

ただし、TVD法は流れ場の変化の判定のための作業を必要とするため、その分いくらか余計に計算時間が必要となってしまう。

TIPS TVD法は衝撃波といった不連続面を解くことに有効であるため、特に圧縮性流体のシミュレーションにおいて広く使用されている手法である。自動車においては、エンジン系の空気の流れは圧縮性流体として取り扱う必要がある。





5-5 乱流をいかにして解くか

▶ 膨大な計算量を減らす工夫

渦を解く

自動車が走行すると、その周囲には乱流が発生する。乱流は大小さまざまな空気の渦で構成されているが、どんなに単純な渦でも、それを一つ計算するためには図5-5-1のように少なくとも9つの格子が必要となる。もしクルマの周囲の渦すべてを直接計算しようとすれば、膨大な数の格子が必要となることは容易に想像がつくのではないだろうか。

例えば、100km/hで走行する自動車の周りに生じる乱流を構成する渦をすべて解くには、少なくとも10^{13}個、つまり10兆個の格子が必要であると見積もられている。しかし、世界トップクラスのスーパーコンピュータを自由に使用できるのならまだしも、実際の自動車開発の現場でこれだけの規模の計算を行うことには現実的に無理がある。

図5-5-1 2次元の渦を解像するには、最低限9つの格子が必要となる

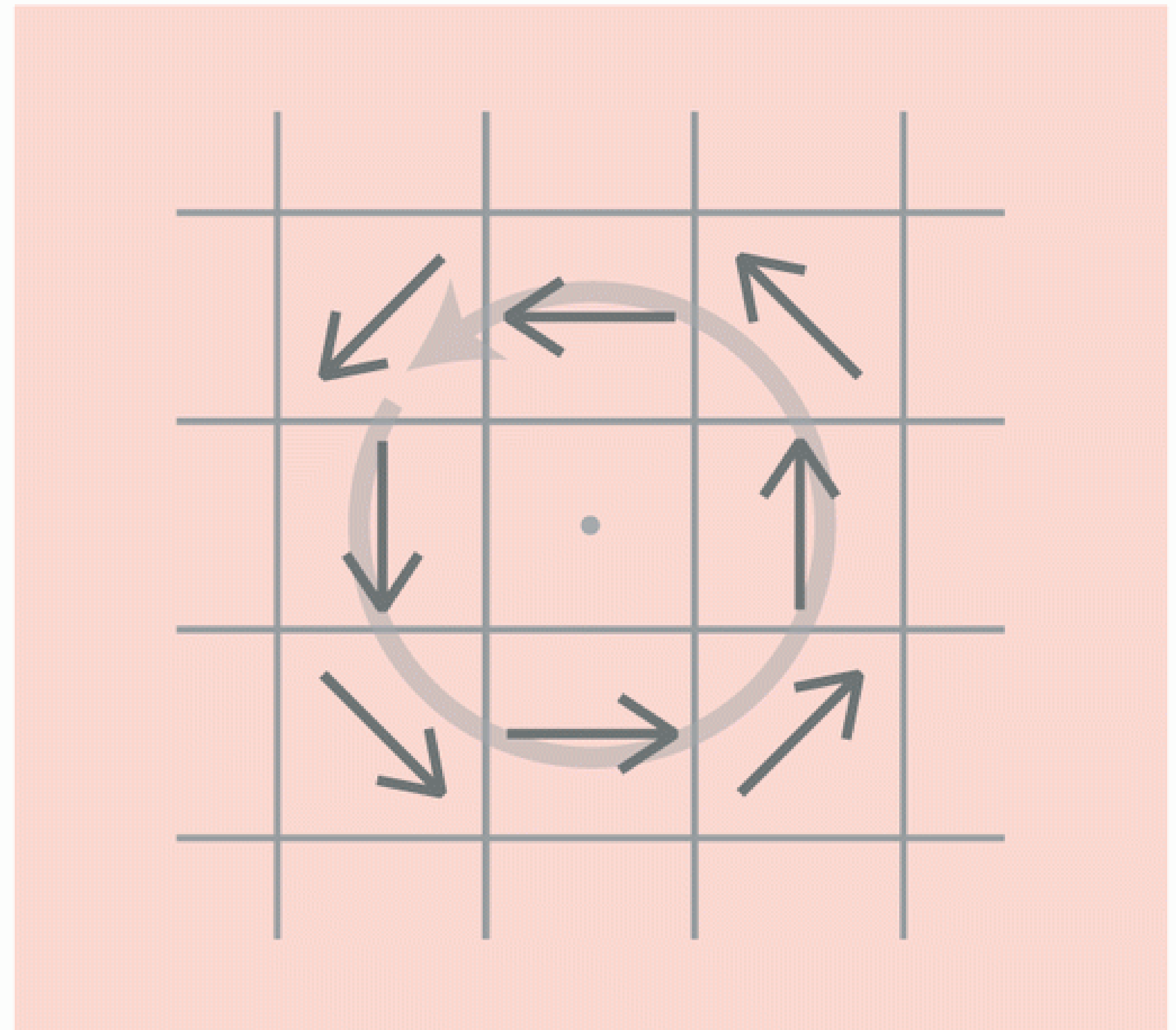
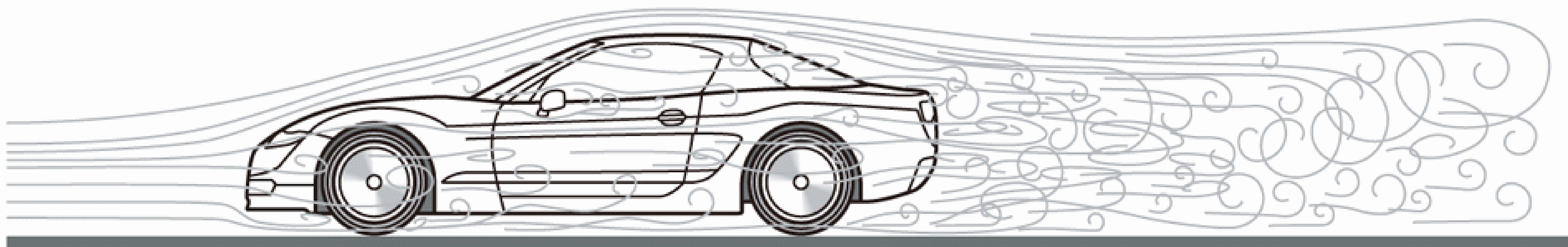


図5-5-2 乱流と渦の関係

乱流は大小さまざまな渦から構成される



乱流モデル

乱流の動きはナビエ・ストークス方程式により表されるが、それを完全に解くことは不可能であるため、乱流の持ついくつかの特徴的な性質をモデル化することにより、乱流の性質を理解しようとする試みが長年続けられ、成果を上げてきた。そこで、これらの成果を基礎にした乱流モデルをCFDに導入することにより、乱流の大小さまざまな渦をすべて解くことは放棄して、その特徴となる性質だけを計算することにより、計算量を減らす工夫が通常行われる。ここでは現在最も広く使用されているRANSとLESという乱流モデルを紹介しておくことにする。

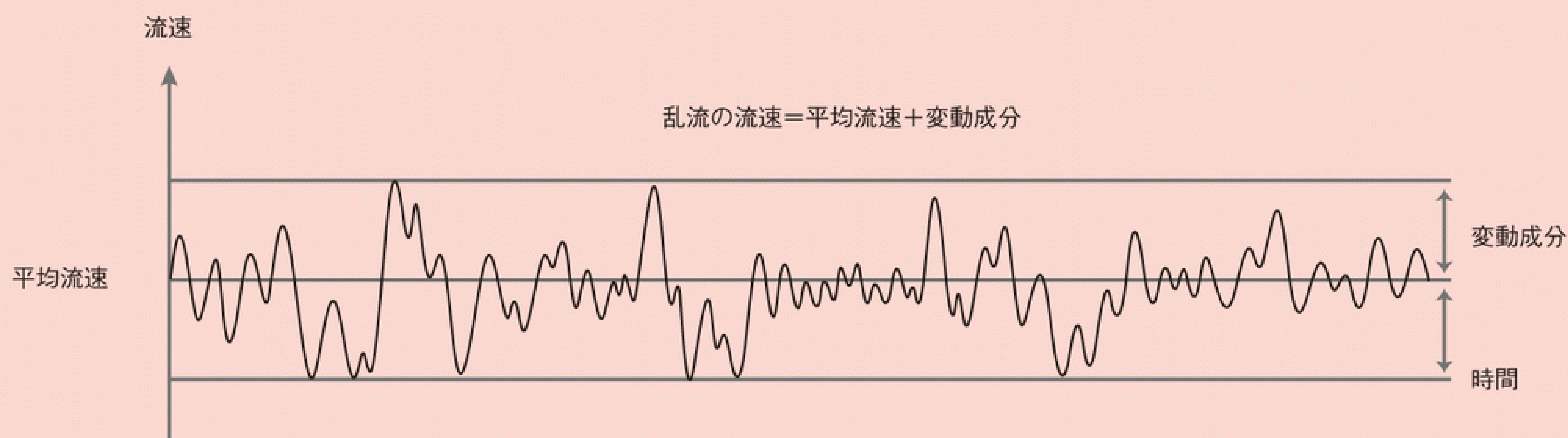
TIPS 乱流モデルを使用せずに直接流体の方程式を解くことをDNS(Direct Numerical Simulation)という。ただし、冒頭でも述べたように、完璧なDNSを行うには非常に細かく空間を刻まなければならない。しかも、空間を細かく刻んだ分以上に時間刻みも同時に細かくしなければならないため、恐ろしく膨大な計算量を必要とする。

RANS (Reynolds Averaged Navier-Stokes)

RANSとは乱流の流速を平均流速とそこからの変動成分に分けた乱流モデルである。

RANSは比較的計算量が少なく済むため、最も広く使用されている乱流モデルである。しかし、非定常な流れの詳細を再現することはできず、剥離などを正確に見積もることが難しいなどの欠点がある。

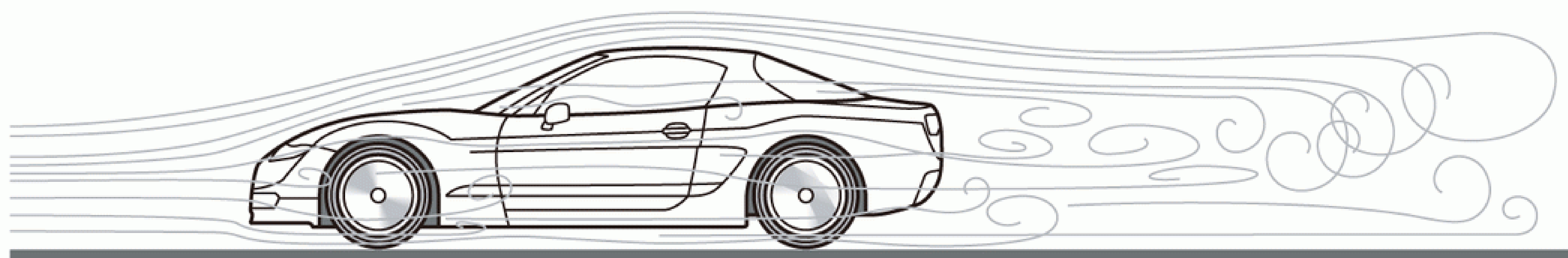
図5-5-3 RANS

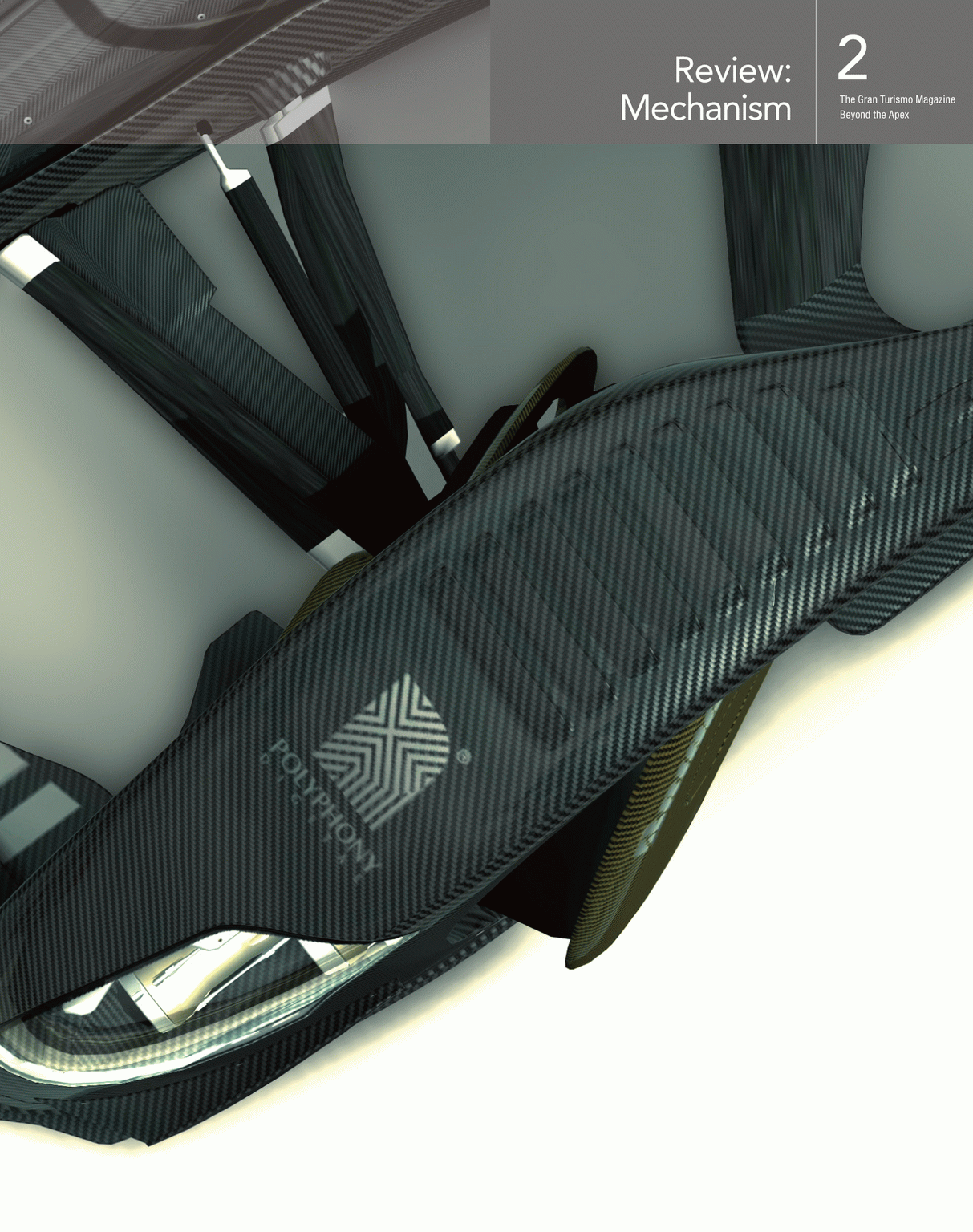


LES (Large Eddy Simulation)

乱流において、支配的な影響力を持つのは大きな渦であり、小さな渦ほど全体の流れ場への影響力は弱まる。そこで、小さな渦を直接解くことは放棄して、大きな渦だけを直接計算し、小さな渦はモデル化してやる手法をLESという。LESはRANSよりも非常に高い精度で流れ場を再現できるが、RANSよりも圧倒的に計算量が多くなってしまう。

図5-5-4





Review:
Mechanism
2
The Gran Turismo Magazine
Beyond the Apex
POLYPHONY

PACKAGING

CHAPTER 02 Mechanism

クルマの基本要素

Packaging

用途に応じてクルマの種類はさまざま。性能、特性はまったく異なる。与えられたスペックは、すべて明確な目的に基づいてのもの。まずは、クルマの素性を正しく理解したい。

ディメンション

設計の初期段階から決定しているボディの骨格や基本的なメカニズムのレイアウトは、基本性能と呼ばれるもので、容易に変更することはできない。これこそがクルマの三大機能「走る・曲がる・止まる」に大きく影響する“ポテンシャル”であり、走行性能を見極める重要な判断基準だ。この基本性能の部分にはチューニングで補うことが難しい要素が多く、わずかなスペックの差が走りの優劣に影響する。さらにチューニングを加えた際にもたらされる効果も、そのクルマ本来のポテンシャルで大きく変化する。それぞれのスペックが走行性能にどんな影響を与えるかを、ここでしっかり覚えよう。

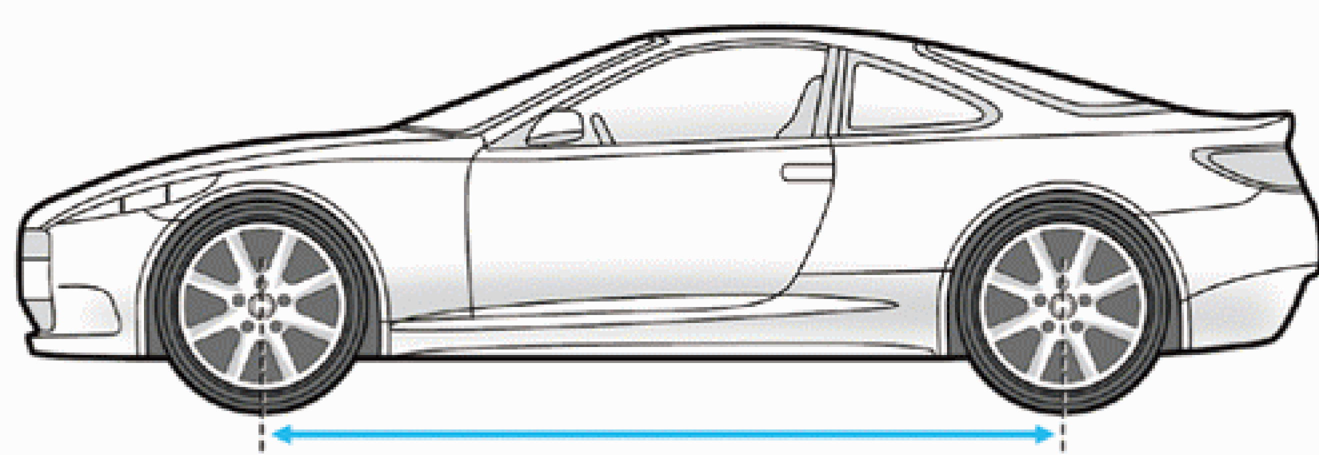


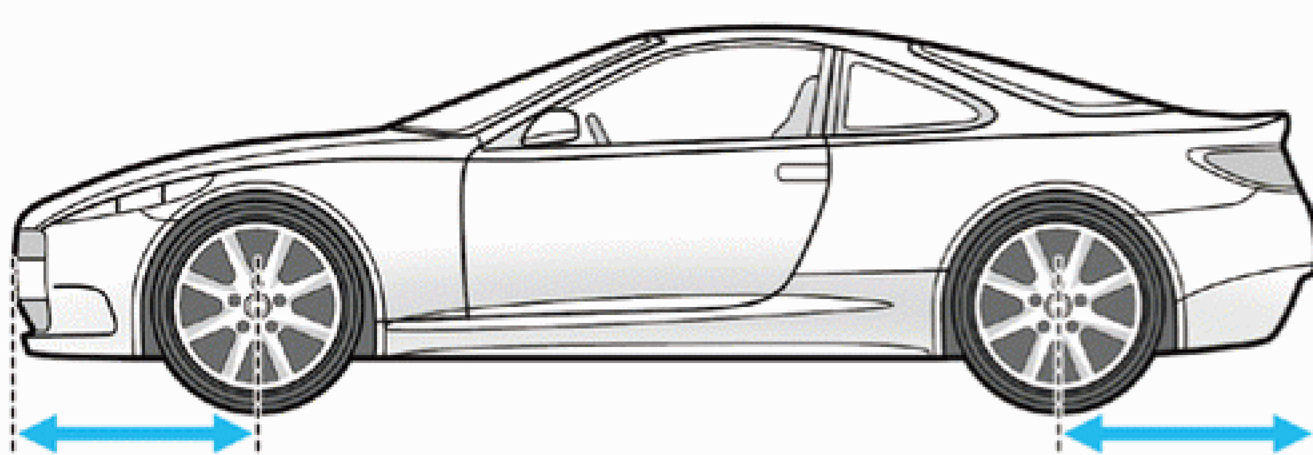
ホイールベース
▶ Wheel base

車体を横から見て、前輪の中心から後輪の中心までの長さをホイールベースという。クルマの走行安定性に影響し、長いほど路面のアンジュレーション(うねり)や横風の影響を受けにくく、直進安定性が高い傾向がある。一般論としては、ホイールベースが短くなるほど安定性が悪化する一方、ステアリング操作に対する反応が鋭くなり、機敏にコーナーを曲がれるようになる。乗り心地の面から言えば、ロングホイールベースはより快適な走り味を生み出しやすく、一方ショートホイールベースではその逆の作用を生じる傾向が強い。

オーバーハング
▶ Overhang

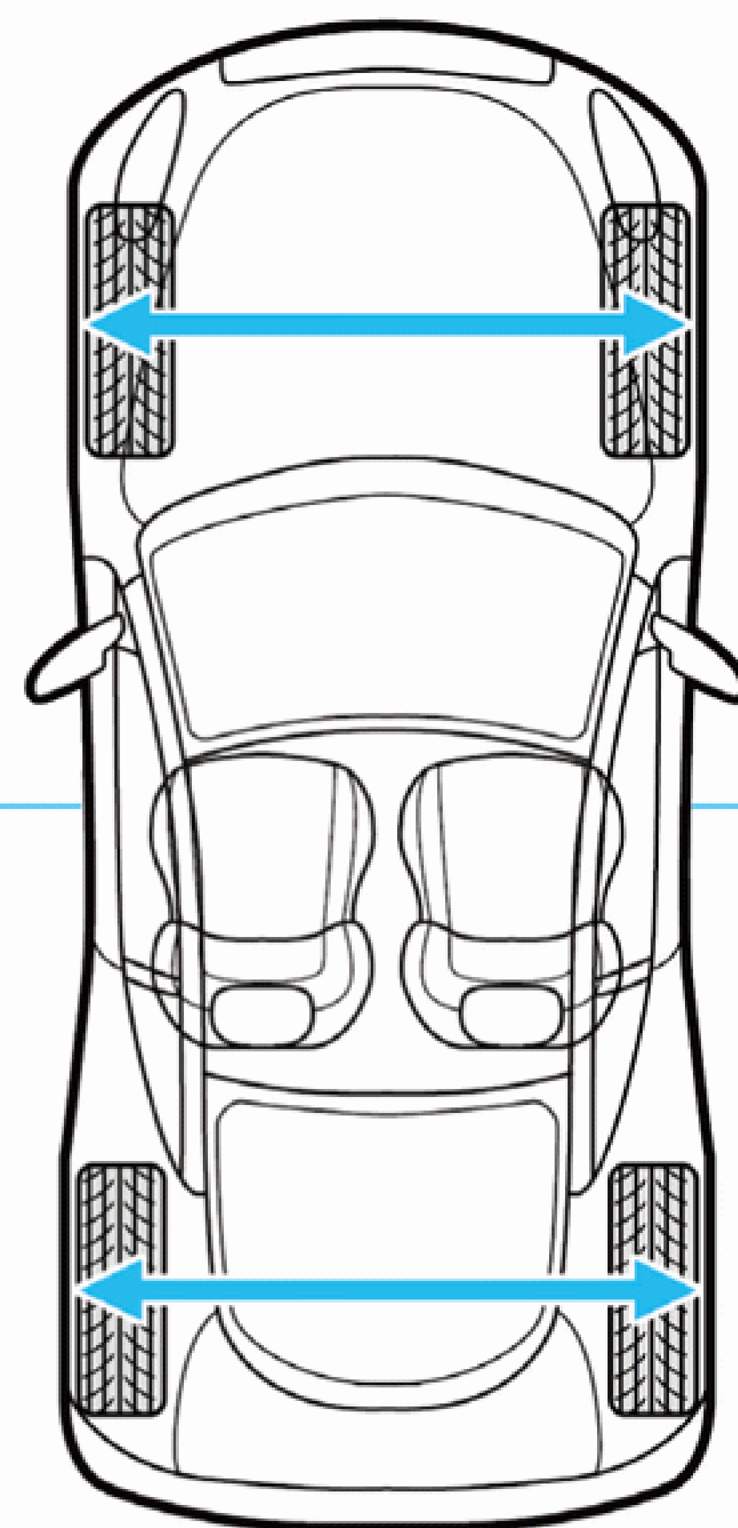
前輪ホイールの中心からフロントバンパー前端までをフロントオーバーハング、後輪ホイールの中心からリアバンパー後端までをリアオーバーハングと呼ぶ。この部分に重い物があるとクルマのヨー慣性モーメント(旋回を妨げる力)も大きくなり運動性能が低下する。従って重量物はできるだけホイールベースの内側へ配置する構造が理想的。とくにエンジンのような重いユニットは重要だ。ただし空力的な効果を得るためには、オーバーハングにはある程度の長さが必要とされている。





09

走りを決定する寸法と重さ。

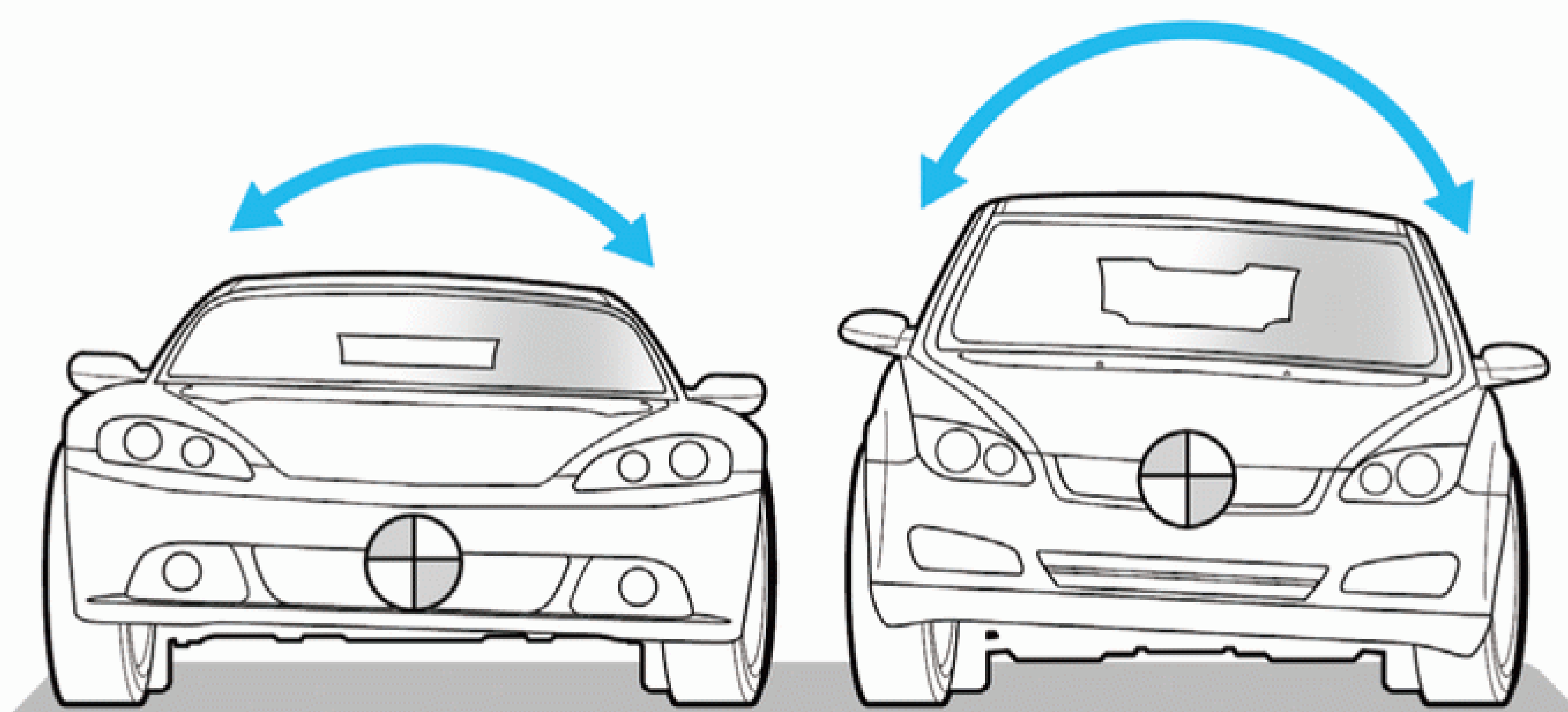


トレッド
▶Tread

　左右のタイヤの距離をトレッドと呼ぶ。トレッドを広げることで仮想的な重心高を低くすることができる。一般的にトレッドが広がるほどコーナリングでのタイヤの踏ん張りが効くようになり、駆動輪のトレッドを広げればパワーを路面に伝えるのに有利になる。レーシングカーでは前後輪を異なるトレッド幅とすることでハンドリングをチューニングしている場合が多い。一方ホイールベースに対して極端に狭いトレッドは、ハンドリングをクイックにする反面、安定性を損なう傾向が強くなる。

車高
▶Height

　路面から最高部までのクルマの高さをいう。車高が低いほど重心高が下がるためコーナリング時のロール（車体の横方向の傾き）を抑えられるようになり、旋回速度を高めることができる。一方車高を低くすることで室内の居住性は低下する。またサスペンションのストローク量（伸び縮み量）の確保が難しくなり、サーキットの縁石などで底付き（完全に縮みきってしまうこと）を起こす原因にもなる。



車両重量
▶Weight

　クルマの運動性能を左右するきわめて大事なファクター。車重が軽いほどエンジンへの負担が減り、動力性能面で有利になる。またブレーキへの負荷が軽減されるので制動力が高まり、さらに慣性による無駄が抑えられてコーナリングが軽快になるなど、メリットは計り知れない。車重を最高出力で割った値を「パワーウエイトレシオ」と呼ぶ。この値が小さいほどコーナーからの立ち上がりを含めた加速は鋭くなり、スポーティな走りが可能となる。一方燃費を向上させる効果もきわめて大きく、環境性能という観点からも軽量化は今や新車開発時の重要なテーマになっている。

重量バランスと駆動方式

ボディサイズと同じような基本スペックに「駆動方式」がある。駆動方式はエンジンの搭載位置と、駆動するタイヤの位置で決まり、一般的にFF、FR、MR、RRといった表現がされる。クルマの中でもっとも重いパーツであるエンジンを車体のどこに置き、どのタイヤを駆動させるかは、クルマの重量バランスを決定付ける大きな要因となる。

重量バランスが良好なクルマは、エンジンパワーを効率よく駆動輪に伝えることが可能になり、発進／加速性能が有利になる。ブレーキングでも極端な前のめりになりにくく、確実な減速が可能になる。

重量バランスがもっとも影響するのがコーナリングだ。遠心力によってクルマが不安定になるため、重量バランスが適正ではないクルマは、旋回スピードを上げていくとスピンなどに至る可能性がある。

基本的に重量バランスは前後・左右ともに50対50が理想値とされる。エンジンをボディ前部に置き、後輪を駆動するFRは、この50対50が実現しやすい。一方フロントにエンジンと駆動系が集まるFF（ 及びFFベースの4WD）はフロントヘビー傾向が出やすく、逆にエンジンと駆動系がボディ後ろに集まるRRはリアヘビーになりやすい。FFの中には、重量配分を改善するために、横向きが主流となっているエンジンをあえて縦向きとしたモデルも存在する。

ただし重量バランスによるハンディは絶対なものではなく、セッティングやドライビングによってある程度矯正することができる。重量バランスに優れるFRにMRのレースマシンが勝利する理由も、こんなところに隠れているのだ。

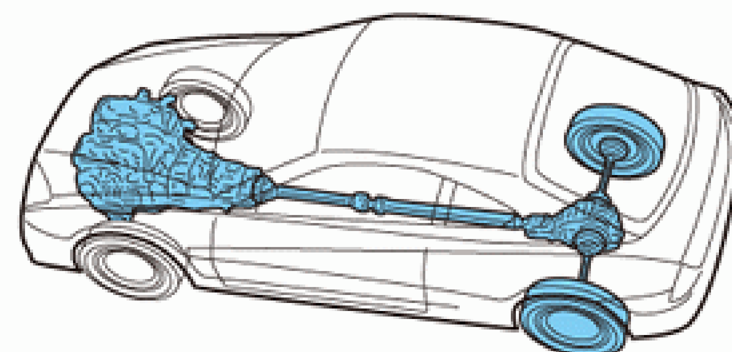


操縦性に直結する基礎構造。

駆動方式の種類

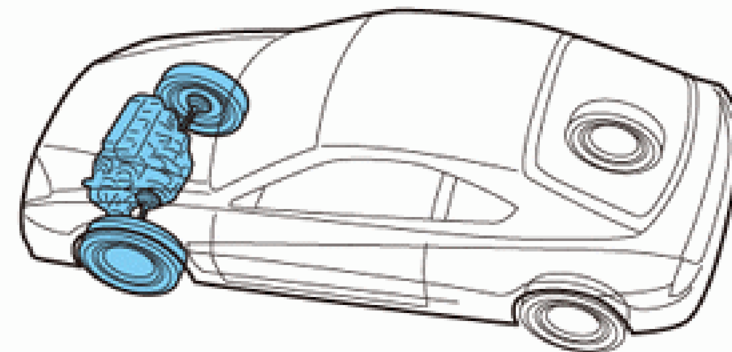
FR
▶ Front engine -Rear drive

客室の前方にエンジンを搭載し、後輪を駆動するコンベンショナルなレイアウト。50対50が理想とされる前後重量配分をもっとも実現させやすい。優れたハンドリングに加えて、操舵輪と駆動輪が分離しているため操舵感覚（ステアリングを切る感覚）にクセがない点も美点。ただし路面状況によってはトラクション（駆動力）がかかりにくい側面もある。



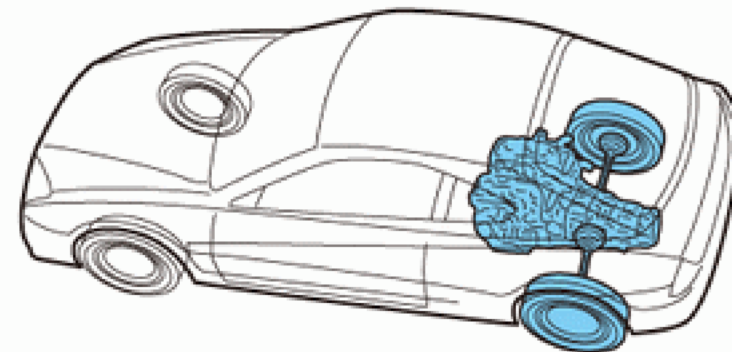
FF
▶ Front engine -Front drive

フロントのエンジンで前輪を駆動する方式。重いエンジンとトランスミッションをともにボンネット内に収める構造上、広い客室を作るのには適しているが、フロントヘビーの重量配分になる。さらに前輪が駆動と操舵の両方を兼ねているため、コーナリング時には旋回と駆動でタイヤのグリップ力を使い分ける必要がある。概して高出力車には不向きなレイアウトといえる。



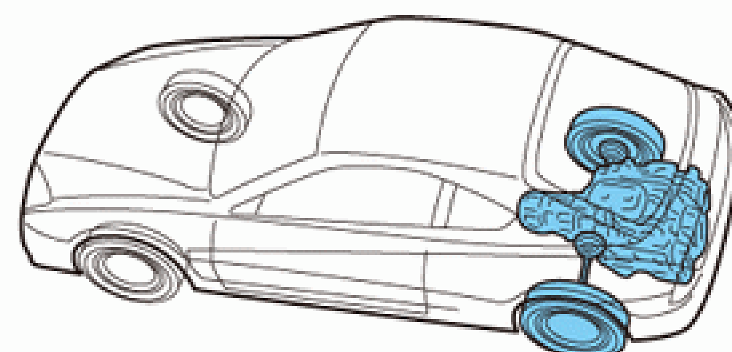
MR
▶ Mid engine-Rear drive

エンジンを前輪と後輪の間に搭載し後輪を駆動。"ミッドシップ"とも呼ばれる。エンジンをボディの中央近くに置くことで、クルマの重心からの距離が短くなり、シャープなコーナリング性能を発揮できる。加速、減速でも前後のタイヤは最大のグリップを発揮する。もっとも走りに有利なピュアスポーツカー、レーシングカーで定番の駆動レイアウト。



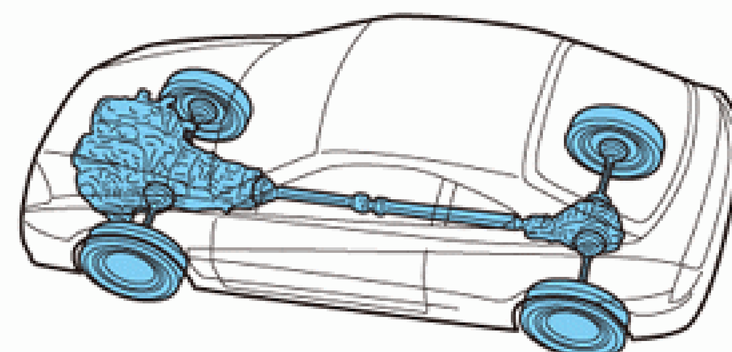
RR
▶ Rear engine-Rear drive

後輪のさらに後ろ、リアオーバーハング部にエンジンを搭載し、後輪を駆動する。リアヘビーの重量バランスになるが、エンジン&ミッションの重さで後輪が路面に押さえ付けられるためトラクションが得やすく、加速性能に優れる。反面前輪に荷重がかからないので、コーナリング初期にアンダーステアになりやすい。また後輪の荷重が大きい分、リアタイヤが限界を超えた際の滑り出しは急激で、リカバリーには高いドライビングスキルが求められる。



4WD
▶ Four wheel drive

基本的に前後左右4本のタイヤで駆動。機構的な重量増を除けばもっとも発進・加速に適した駆動レイアウト。ただし高い安定性ゆえ曲がりにくさを生じることもある。FF、FR、MR、RRなどすべてのレイアウトで4WD化は可能だが、どのレイアウトをベースにするかによって操縦性は大きく異なる。一般的には前後輪どちらかを主動輪とし、そのタイヤのスリップに応じて、もう一方へトルクを配分する方式が主流。



ENGINE

CHAPTER 02 Mechanism

クルマの心臓部

クルマの構成部品の中で、もっとも大きな役割を担うエンジン。そのメカニズムを把握することが、正しい操作に結びつき結果的に性能を100%発揮させることに繋がる。

構造と原理

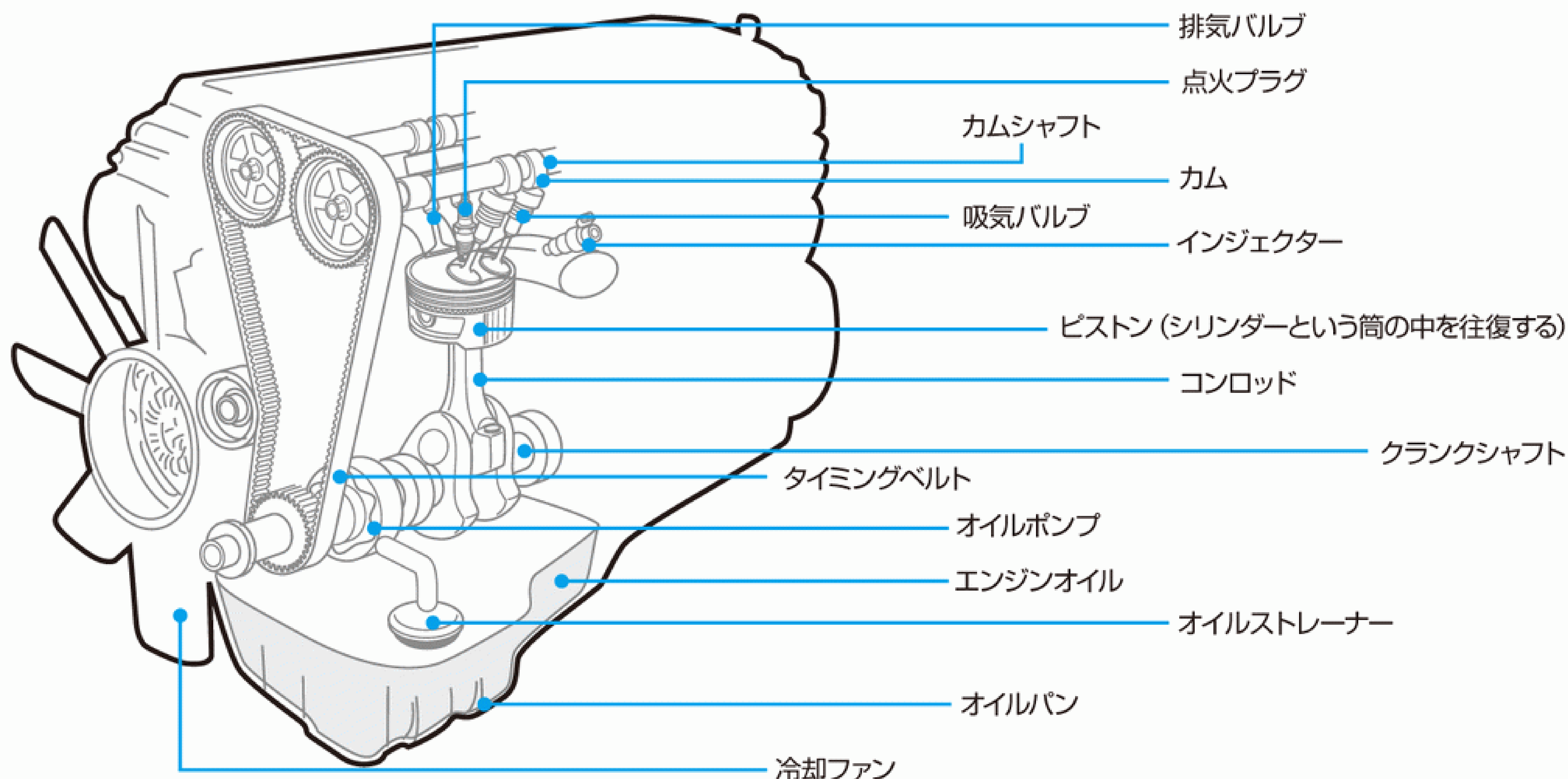
ほとんどのガソリンエンジン車は4サイクルのレシプロエンジンを搭載している。レシプロエンジンにはシリンダーがあり、シリンダーの中をピストンが往復運動することで動力を生み出す。4サイクルとはその往復運動が、吸入－圧縮－燃焼－排気という4つに分けられるために付いた呼称だ。

4サイクルエンジンの行程を説明しよう。まずピストンがシリンダー上死点に届くわずか前に吸気バルブが開く。上死点に達したピストンが下がり始めるとシリンダー内部の圧力が低下するため、開いた吸気バルブから空気とガソリンの混合気が吸い込まれる。ピストンが一番下まで下がると吸気行程は終了し、圧縮行程へ進む。すべてのバルブが閉じたシリンダーの中で、ピストンが混合気を圧縮していく。

混合気を圧縮したピストンが頂点を少し過ぎたところで点火プラグが着火を行う。これが燃焼だ。この時ガソリンエンジンのシリンダー内部は2000℃、200気圧にも達する。その高温高圧のエネルギーがピストンを押し下げ、クランクシャフトを回すことで回転エネルギーが生まれる。

ピストンが下に着くと排気バルブが開けられ排気行程となる。ここではピストンが押し出すというよりは、排気ガスは自らの高温高圧のエネルギーによって、排気バルブから飛び出していく。そして再びピストンが頂点へ来ると吸気バルブが開けられることで、再び吸気行程へと戻る。

この行程を通して4サイクルエンジンは、アイドリング状態でも1分間に数百回、全開状態になると1分間に数千回というスピードでクランクシャフトを回して、パワーを生み出し続けるのである。

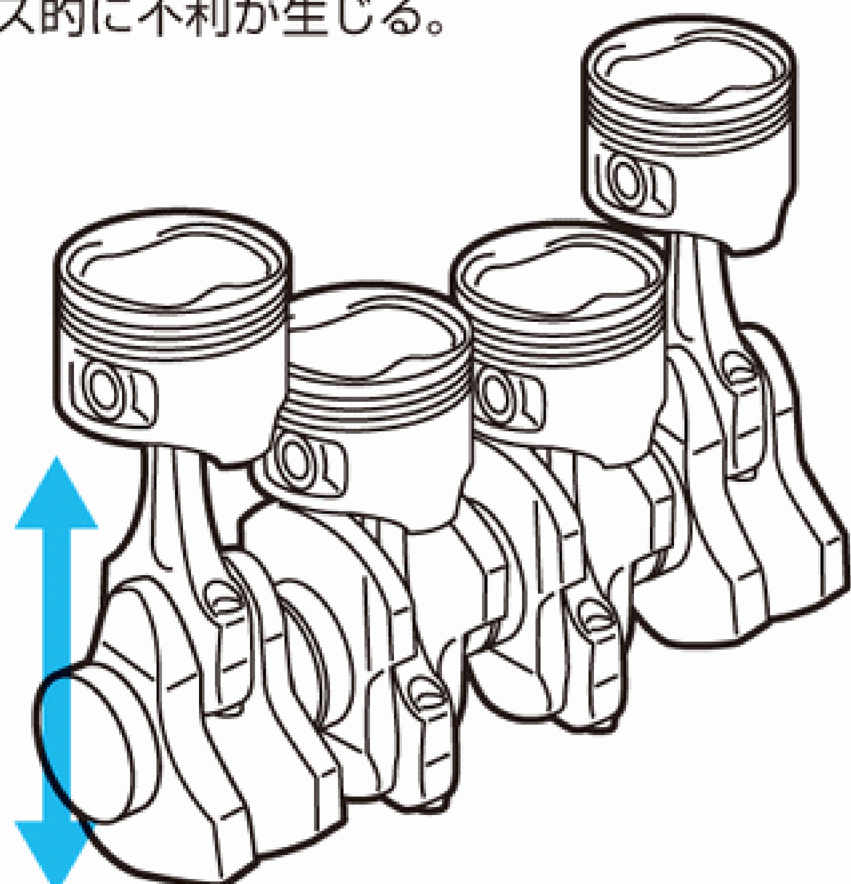


エンジンはどう動く?

シリンダー配置の種類

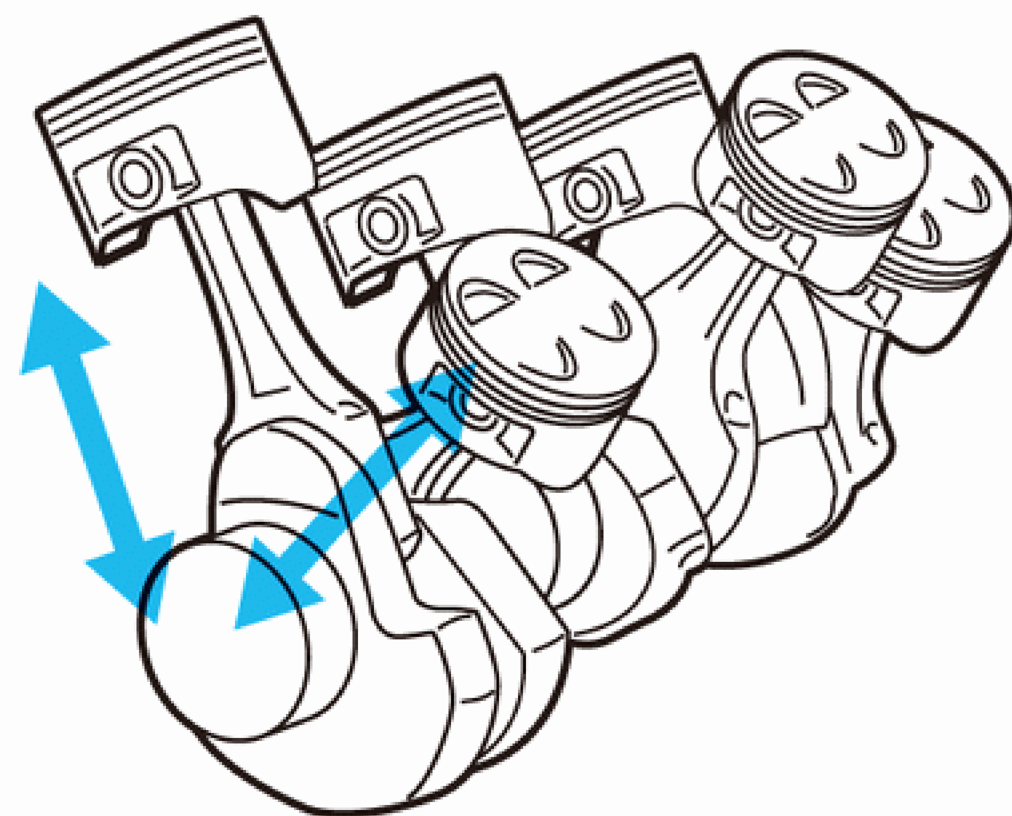
直列型
▶In-line engine

複数のシリンダーを一列に配置。バルブの開閉を管理するカムシャフト、シリンダーで生まれた動力を回転運動にして取り出すクランクシャフトをすべてのシリンダーで共有し、シリンダーブロックも一体化できるため、構造がシンプルで比較的軽量にできるのがメリット。ただし気筒数が多くなると長くなりスペース的に不利が生じる。



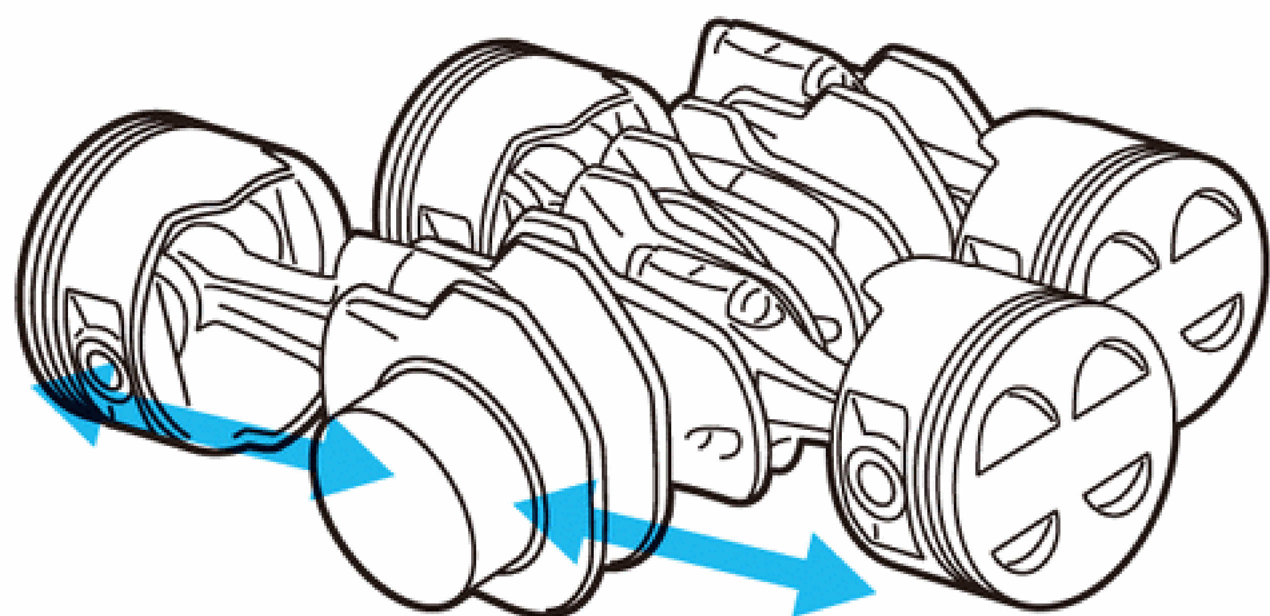
V型
▶V engine

シリンダーを左右交互にV字型にレイアウト。クランクシャフトの長さを短くでき、多気筒でもエンジン自体のサイズをコンパクトにできるのが利点。気筒数にかかわらず振動が少なく、短いシリンダーブロックやクランクシャフトは剛性にも優れる。



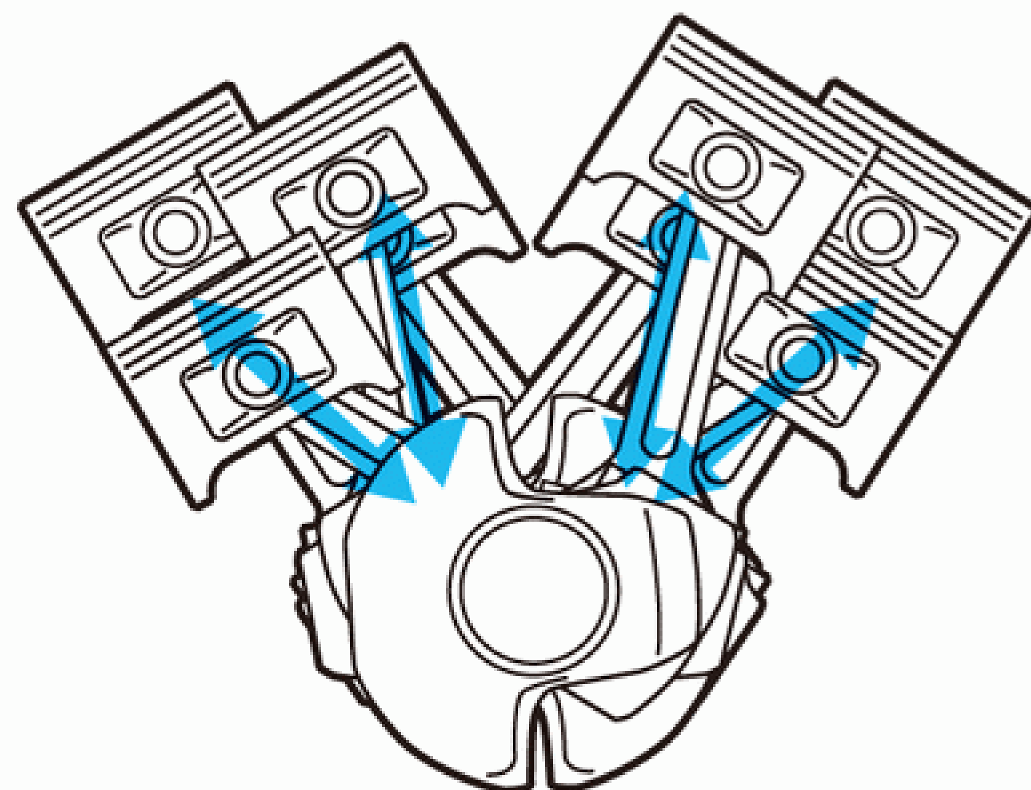
水平対向型
▶Flat engine

シリンダーを左右交互に水平に配置した型式。クランクシャフトを中心にシリンダーが左右に向かい合い、対向したピストンが左右対称の動きをする様子が、ボクシングでのパンチの打ち合いに似ているところから"ボクサー"エンジンとも呼ばれる。エンジン高が低いため低重心化にもメリットがある。



W型
▶W engine

本来、1本のクランクシャフトに対して3列のシリンダーを扇状に配置したエンジンのことをいうが、現在では、狭角のV型エンジンを2つ組み合わせたものもW型と呼ぶ。横幅はV型よりも広くなるが、12気筒以上の多気筒では、クランクシャフト長(=エンジン長)を短縮するメリットのほうが大きい。



バルブ駆動方式

4サイクルエンジンには、吸気行程で開いて外部から混合気を導く吸気バルブと、排気行程で開いて燃焼ガスを外部に送り出す排気バルブがある。バルブはシリンダーヘッドに設けられ、燃焼室と外部をタイミングよく遮断したり繋いだりする弁の役割を果たす。

現代のエンジンではカムシャフトがエンジンの上部に配置されるのが一般的で、より正確なバルブ駆動を実現している。バルブの数は吸気2、排気2の4バルブがほとんどだが、低回転域での燃焼効率を追求した吸気1、排気1の2バルブも今後復活していくことだろう。

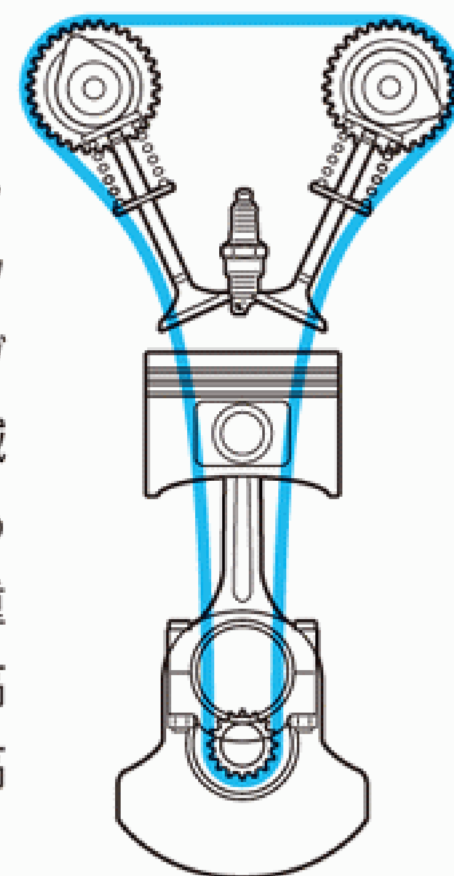
最近のトレンドとしては可変バルブタイミング機構がある。もともとは低回転域と高回転域でバルブタイミングを切り替えるものであったが、その後エンジン回転によってバルブタイミングとリフト量を連続的に可変できるものへと進化した。さらにBMWのバルブトロニックが口火を切った最新の可変バルブ機構では、スロットルバルブを使わずに出力調整を行い、より効率を高めることにも成功している。



バルブ駆動方式の種類

DOHC

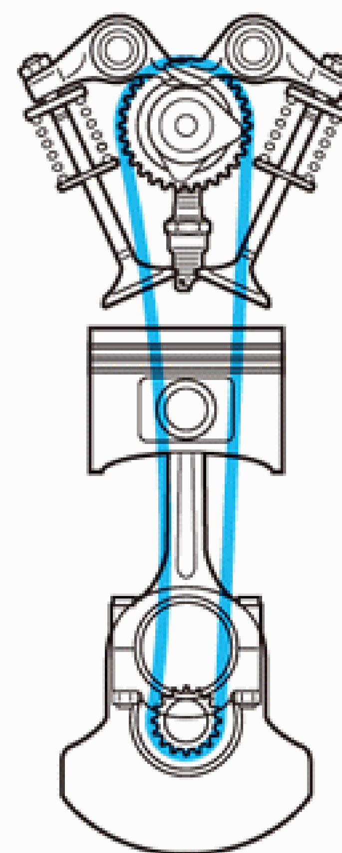
▶ Double Over Head Camshaft



DOHCとは「ダブル・オーバー・ヘッド・カムシャフト」の略称で、カムシャフトを2本にして吸気側と排気側のバルブを別々に駆動する方式。カムの負担が減るためバルブの開閉をより確実に行えるようになるほか、バルブ周りの動弁系重量（＝慣性）を軽減することが可能で高回転、高出力を得やすい。ほとんどの高性能エンジンで採用されている。

SOHC

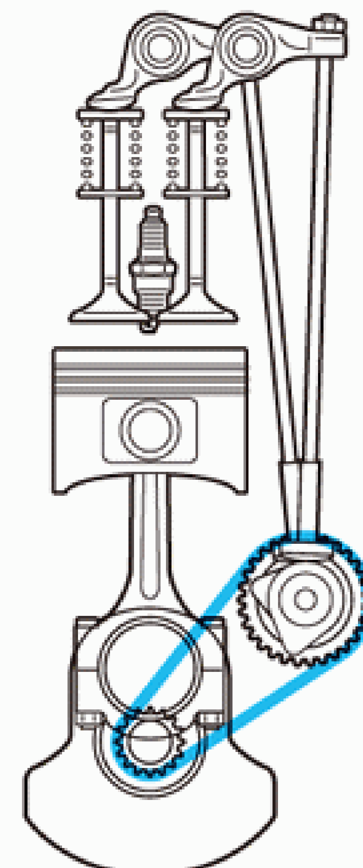
▶ Single Over Head Camshaft



シリンダーヘッドに1本のカムシャフトを設けた方式が「シングル・オーバー・ヘッド・カムシャフト」。燃焼室形状によってカムシャフトがバルブを直接駆動させるものと、カムシャフトからロッカーアームというシーソーのような部品を介してバルブを駆動するものがある。OHVに比べるとバルブ追従性が高まり高回転化が可能になる。DOHCに比べるとバルブ追従性で不利と言われるがSOHCにも高回転型エンジンは存在するため一概に劣るとは言えない。

OHV

▶ Over Head Valve



「頭上弁式」とも呼ばれる「オーバー・ヘッド・バルブ」は、その名のとおり、バルブ機構をシリンダーヘッド上に設けた型式だ。SOHC、DOHCとの違いは、カムシャフトが頭上ではなくシリンダー横にあり、ここからプッシュロッドという長い棒とロッカーアームを介してバルブを駆動する点。構造がシンプルで整備性に優れる反面、高回転でのバルブ追従性は思わしくなく、高出力化には不向きとされる。

ロータリーエンジン

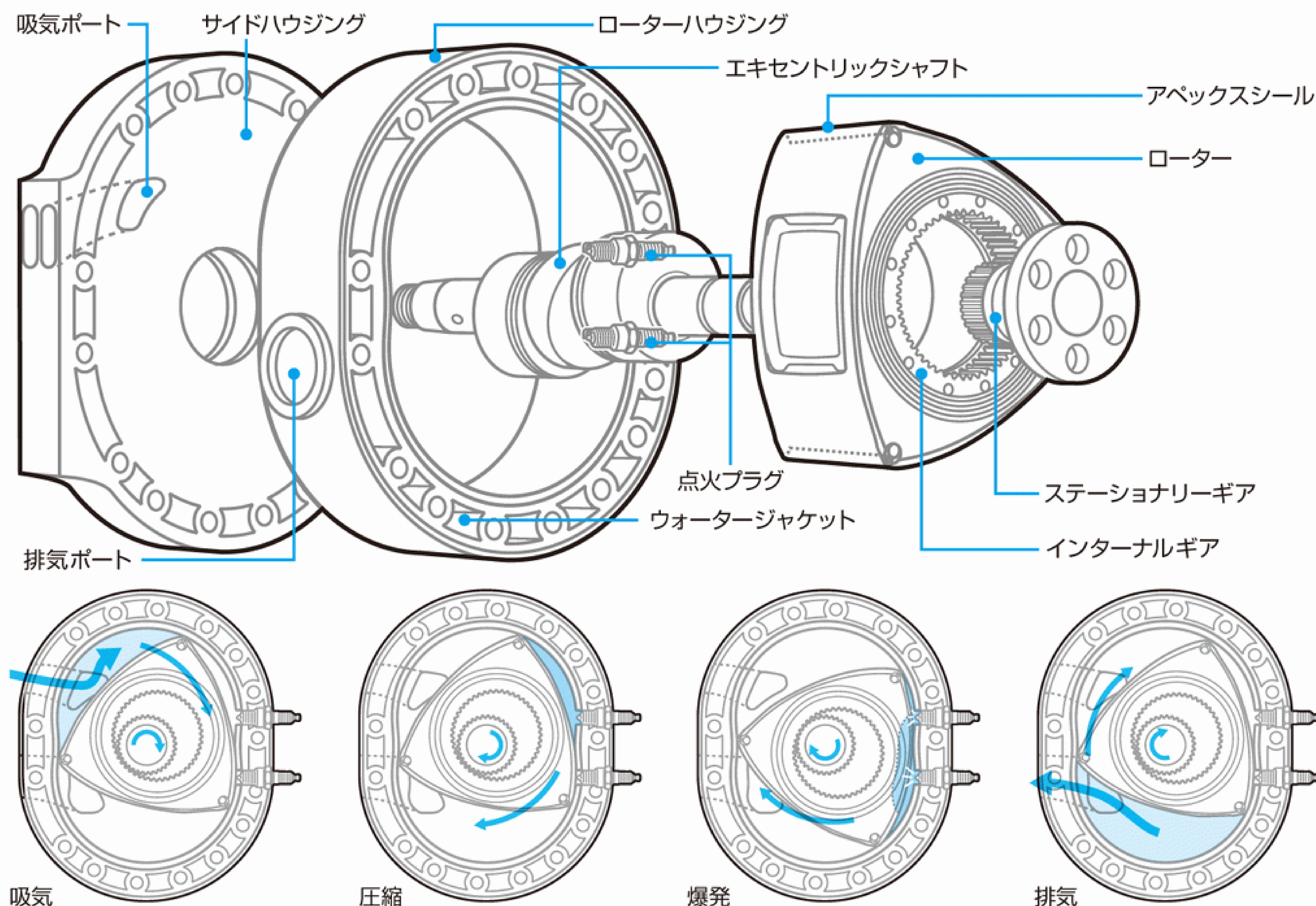
ロータリーエンジンもレシプロエンジンと同じように、吸入空気を吸い込み、圧縮して燃焼、そして排気という行程を繰り返すことで回転エネルギーを得る。ただしその行程はレシプロと根本的に異なっている。

ロータリーエンジンにはシリンダーの代わりにローターハウジングという繭形の空間があり、そこに三角おにぎりの形をしたローターが組み込んである。このローターが偏心して回転することでローターとローターハウジングの間にできる空間の大きさが変化し、ここで圧縮、燃焼、排気といった行程を行う。通常1機のロータリーエンジンにはこのローターハウジングが2つ、あるいは3つ組み合わせられている。

通常のエンジンでは複数のピストンが往復運動するため力の制御が難しく、それが振動や音を生み出す原因になる。しかしロータリーエンジンは原理的に回転運動であるため、スムーズで滑らかなフィーリングが得られる。バルブ系も持たないので部品点数が大幅に軽減できる点も美点だ。最近ではレシプロエンジンが軽量化してきたため、かつてのように軽さをアピールすることは難しいが、コンパクトであることは間違いない。

ロータリーの吸排気のタイミングは、ローターハウジングの壁面や側面に設けられたポート（混合気の通り道）の形状で決まる。ロータリーエンジンの吸排気チューニングは、そのポートの位置と形状を変えることで対応することになる。またロータリーエンジンには排気バルブが存在しないため、排気エネルギーをダイレクトに排気ポートへ排出できることから、ターボチャージャーとの相性に優れているのも特長だ。

一方ロータリーエンジンはレシプロに比べて燃費の面で不利だと言われる。これは燃焼室の容積に対して表面積の割合が大きいため、熱が逃げてしまい、回転エネルギーへと変化する割合が低いためだ。



過給器

エンジンは多くの空気を吸い込むことができれば、その分だけパワーアップが可能になる。もっとも単純な方法は排気量を拡大することだ。

しかし排気量を変えずに排気量を拡大したような効果を生み出せるものがある。それが過給器だ。大別するとスーパーチャージャーとターボチャージャーがあるが、どちらも吸気をエンジンに押し込む（これを過給という）ことで、排気量拡大と同じ効果を実現するわけだ。

空気を圧縮する際の圧力は過給圧＝ブースト圧と呼ばれ、過給圧を上げるほど引き出されるパワーも大きくなる。大気圧が1気圧のときこれを1bar、または1kg／cm^2という単位で表す。過給圧が1barだとすると、大気圧と合わせて2bar、つまり2倍の空気がエンジンに入っていることになる。

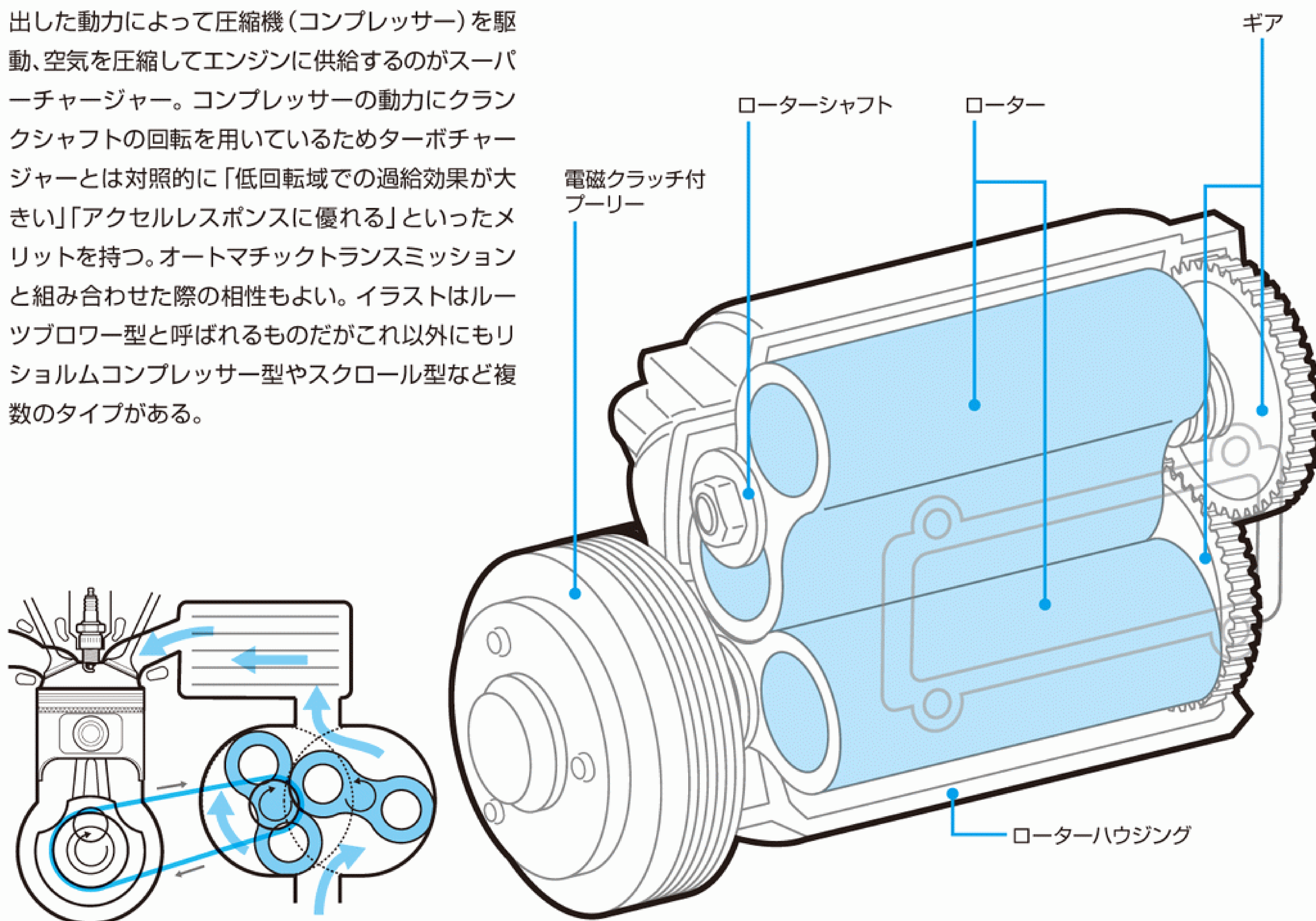
過給器のデメリットとしては、過給圧を上げるにつれて燃焼エネルギーが高まり、エンジンへのダメージが大きくなること。異常燃焼が発生することなどがあげられる。このため過給器付きエンジンではエンジン内部のパーツの強度を高めたり、圧縮比を低めて異常燃焼を抑えるといった対策が施される場合が多い。

また空気は圧縮することで熱を帯びて密度が低下する。高負荷運転や夏期にはいっそうその傾向が強まり、燃焼させても大きな爆発力（＝出力）が得られなくなる。「吸気温

スーパーチャージャー

▶Supercharger

エンジンの出力軸からベルトなどを介して取り出した動力によって圧縮機（コンプレッサー）を駆動、空気を圧縮してエンジンに供給するのがスーパーチャージャー。コンプレッサーの動力にクランクシャフトの回転を用いているためターボチャージャーとは対照的に「低回転域での過給効果が大きい」「アクセルレスポンスに優れる」といったメリットを持つ。オートマチックトランスミッションと組み合わせた際の相性もよい。イラストはルーツブロワー型と呼ばれるものだがこれ以外にもリショルムコンプレッサー型やスクロール型など複数のタイプがある。



排気量アップと同じ効果を発揮。

度が1度上昇すると約1ps損失する」とも言われ、圧縮空気をクールダウンするためのインタークーラーの装着はもはや常識となっている。

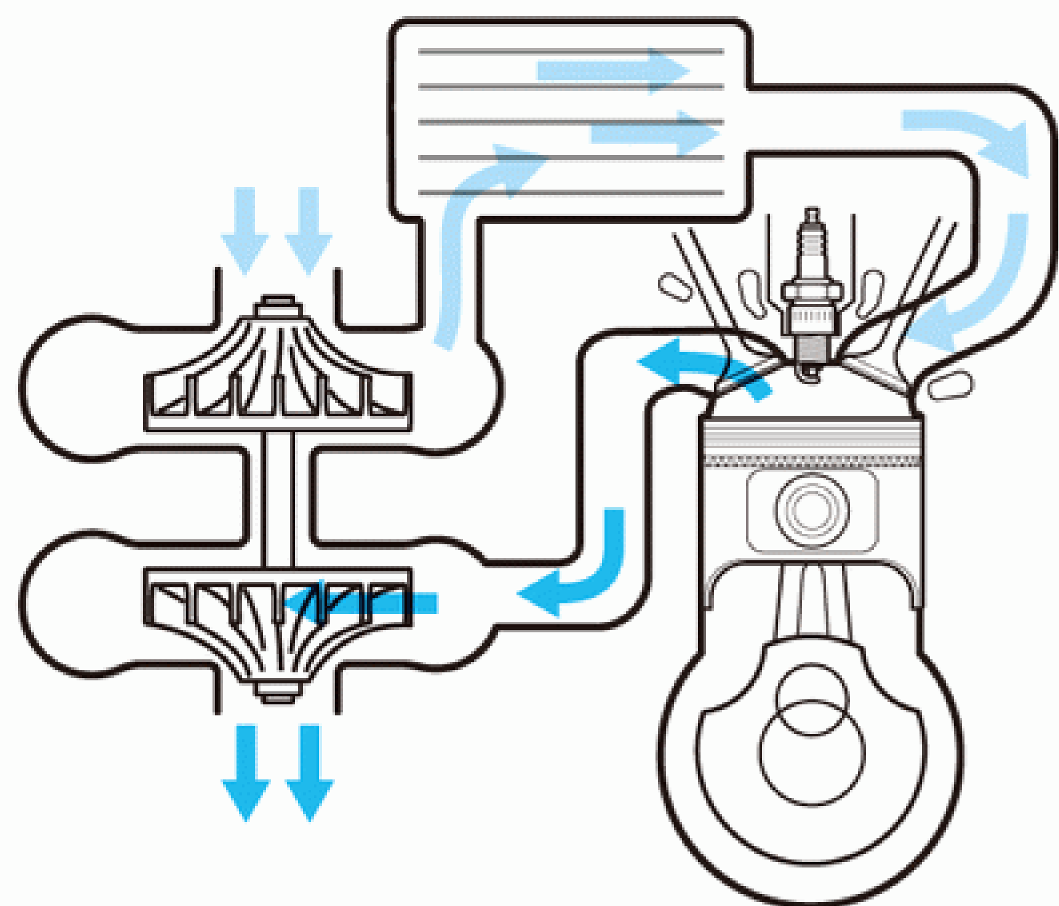
ターボチャージャーは排気エネルギーで過給器を差動させるため、ブースト圧が発生するまでに時間的な遅れ（タイムラグ）が生じる。一方エンジンのクランクシャフトを動力源とするスーパーチャージャーはタイムラグとは無縁だが、エンジン自体のパワーを幾分失わせてしまうというデメリットがある。

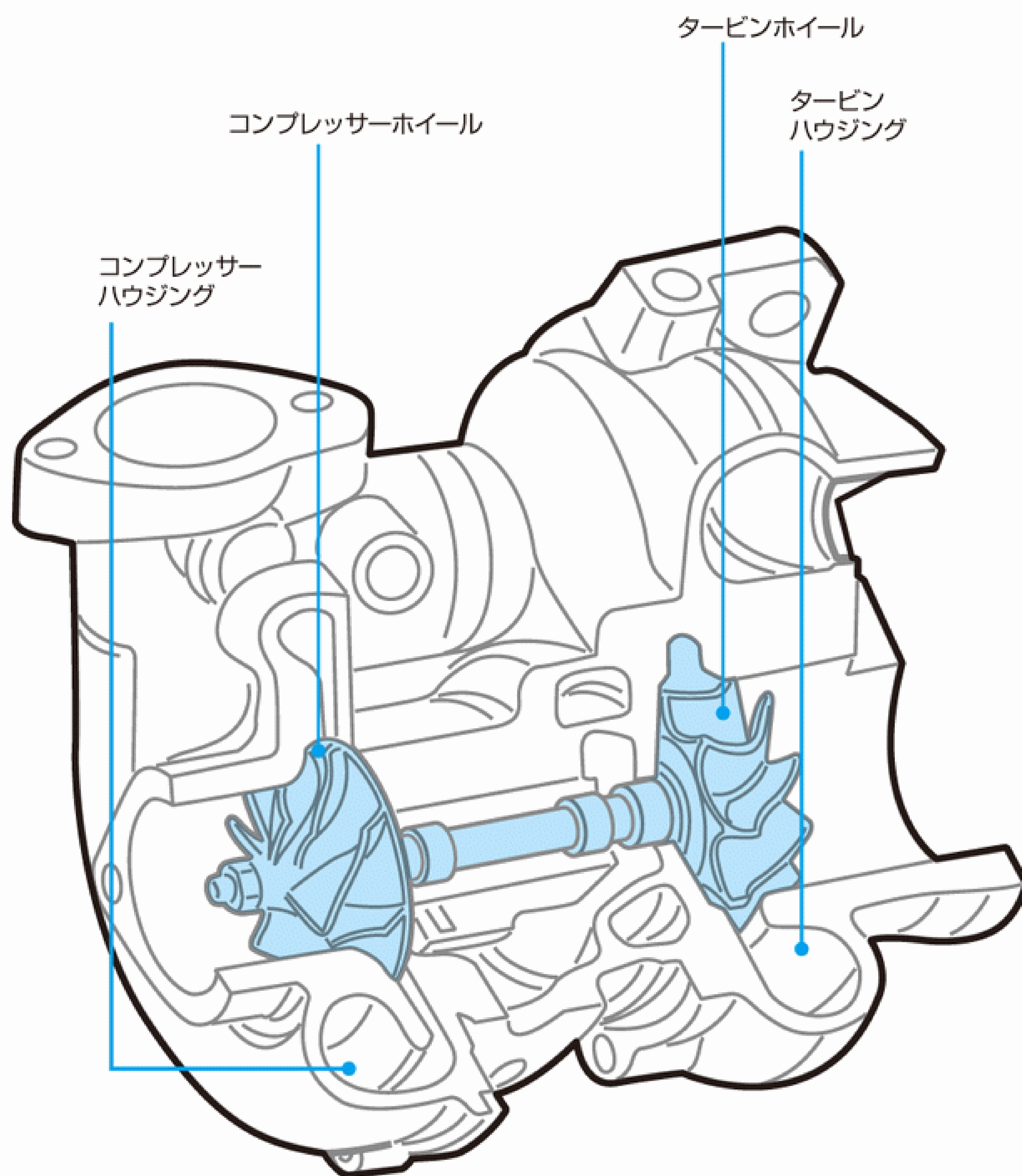
最近では低回転ではスーパーチャージャー、高回転でターボといったふうに両者を組み合わせて、互いのメリットを高めた過給器エンジンも脚光を集めている。

ターボチャージャー

▶Turbocharger

ターボはタービンを意味し、通常はマフラーを通過して放出される排気ガスの圧力を利用してタービンを回して駆動する過給器のことだ。排気ガスのエネルギーを使うので、スーパーチャージャーのような高回転域での駆動ロスの増大はない。その代わりに排気ガスのエネルギーが低い、低回転域などではタービンを回せず、そこから加速しようとしてもタービンの回転が高まるまで時間が必要になる。これがいわゆるターボラグの原因だ。それを克服するために、さまざまなシステムが考えられており、まだまだ進化を続けている。ヨーロッパではターボを使うことで燃費を高めたダウンサイジングエンジンが、続々と登場してきている。







ハイブリッドシステム

「エンジンとモーターを併用することで燃費を向上させる」というのがハイブリッドシステムの目的だ。日本がトップランナーとして作ってきたハイブリッドカーはエコカー一辺倒だったが、ヨーロッパのスポーツカーメーカーまでもが開発をスタートさせるなど、次世代のパワーユニットの中心的存在となる可能性を秘めている。

エンジンの弱点はアイドリング時や発進時に効率が悪くなることだ。ところがモーターはゼロ回転から最大トルクが発揮でき、効率も高いのでエンジンが苦手な低回転領域をフォローできる。一方速度が上がるとエンジンの効率は高まり、モーターは逆に出力が低下して効率が悪化する。そこでお互いの長所が活きる領域を組み合わせてエネルギー効率を劇的に高めたのが、ハイブリッドカーなのだ。

モーターとバッテリーを積むことのメリットは、エネルギーを回収できることだ。これを回生と呼ぶが、アクセルオフの時やブレーキング時に、タイヤの回転エネルギーで発電機を回し、バッテリーを充電する。そこで蓄えた電気を再びモーターを動かす時に使うのだ。こうすることで、今までブレーキが熱として捨てていたエネルギーを、電気として再利用することが可能になる。

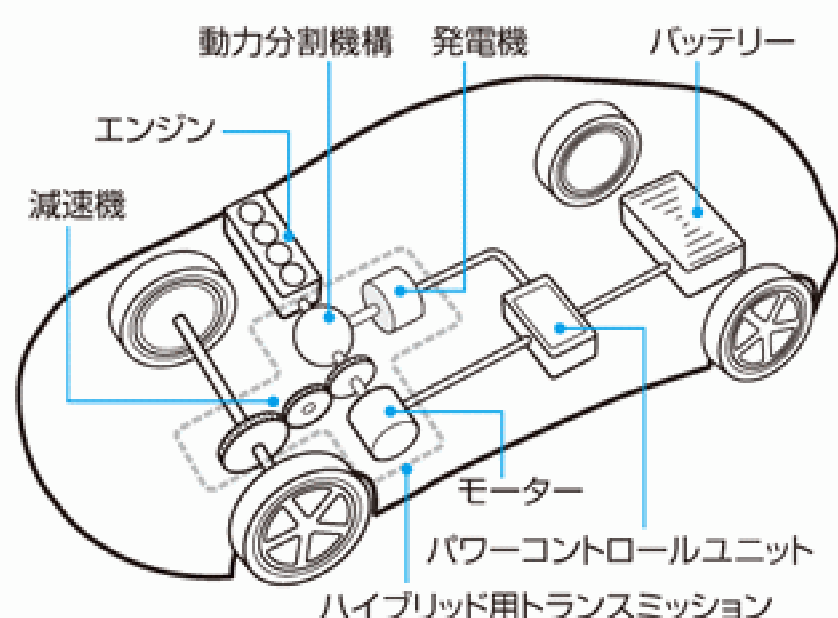
もうひとつのメリットは、エンジンの性能を補ってモーターに過給器のような働きをさせられる点だ。ヨーロッパメーカーが作るハイブリッドカーには、むしろこれを主眼としたモデルも多い。大排気量車の走行フィーリングを過給器ではなく電気モーターが実現するという発想である。

モーターやエンジンなどをどう組み合わせるかによって、ハイブリッドシステムの制御の幅と得意な領域は異なってくる。自動車メーカーはそれぞれのコンセプトで最適なシステムを探っている。現在すでに何種類かのハイブリッドシステムが実用化されているが、これからもバリエーションは増えていくことが予測される。スーパーカー用ハイブリッドも開発中といわれるが、それがどのようなシステムを採用してくるのか注目したい。

エンジンとモーターで走る。

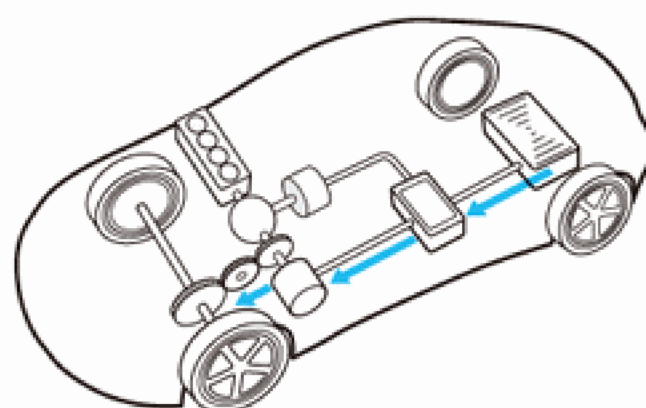
トヨタ プリウスの作動概要

システム全体図



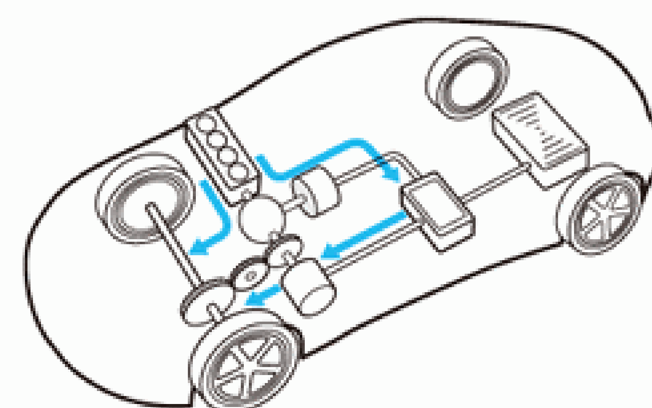
発進時・低中速走行時

発進時や低速から中速までの通常走行など、エンジン効率の悪い領域ではエンジンを停止。モーターのみで走行。



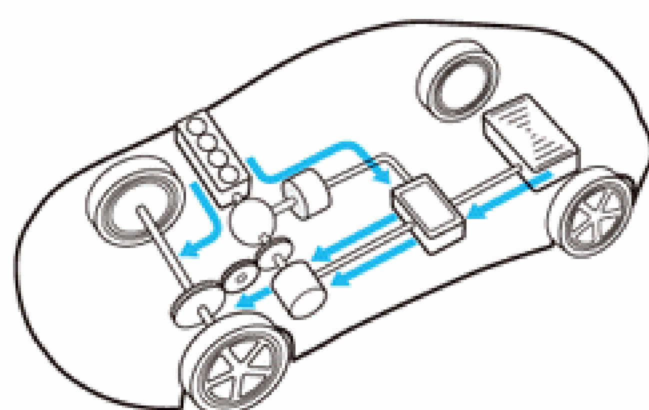
通常走行時

エンジン動力は動力分割機構で2経路に分割。1つは発電機を駆動させて発電する経路。一方は、車輪を直接駆動。



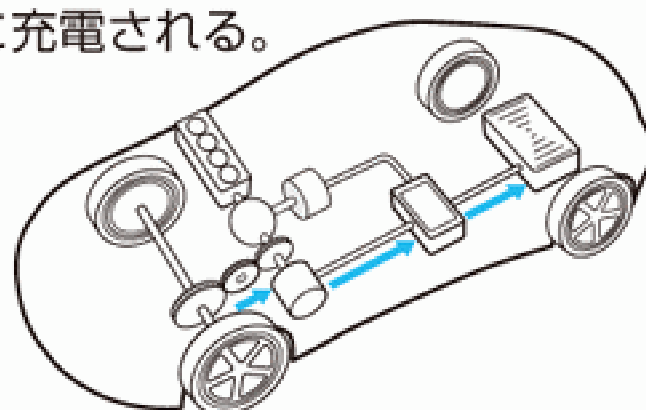
急加速時

バッテリーからも電力を供給。エンジンの駆動力に、さらにモーターの駆動力を加えることで、レスポンスがよく、スムーズな加速性能が得られる。



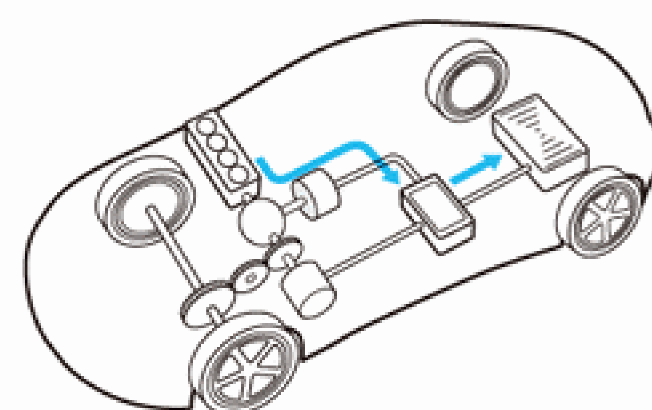
減速時＆制動時

車輪がモーターを駆動。モーターを発電機として機能させ、クルマの制動エネルギーを効率よく電力に転化。回生ブレーキとして作用し、回収した電力はバッテリーに充電される。



バッテリー充電時

バッテリーは一定の充電状態を維持するよう制御される。充電量が少ない場合は、エンジンを始動し、発電機を駆動させて充電を開始する。

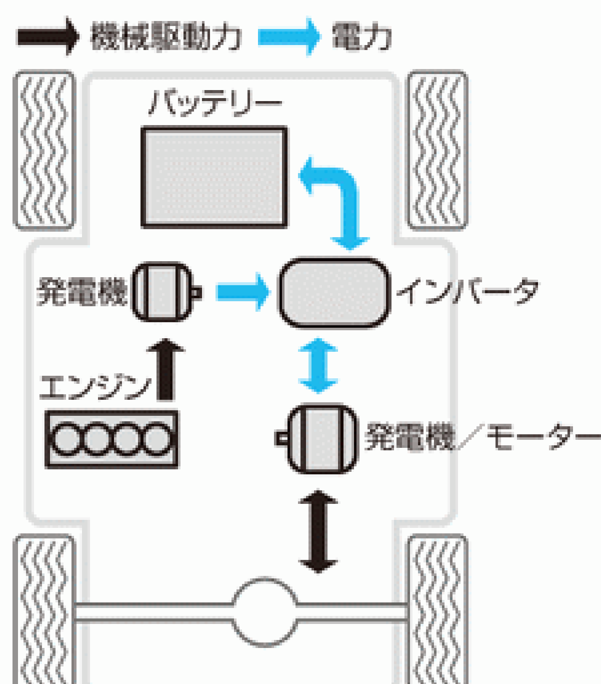


ハイブリッドシステムの種類

シリーズ方式

▶Series hybrid

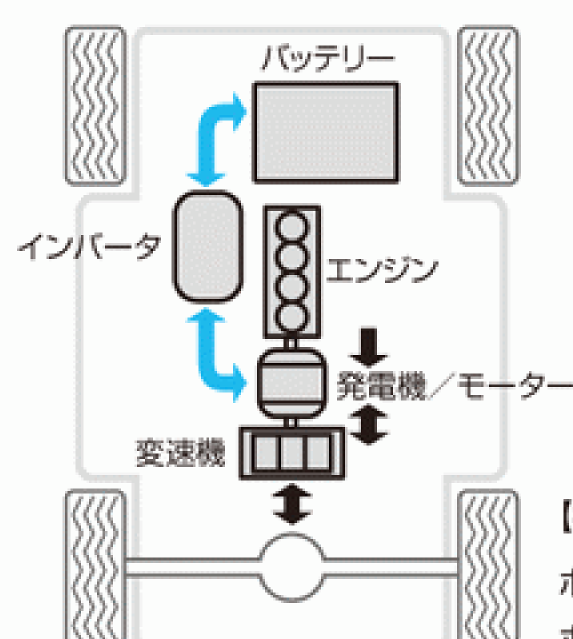
エンジンは発電機を回すだけの役割で、クルマを動かすのはモーターのみ。シンプルな構成であり、エンジンの搭載位置も自由で、発電機を積んだ電気自動車のような構造となっている。



パラレル方式

▶Parallel hybrid

エンジンとモーターが並んだ方式。従来のエンジンとトランスミッションの中間にモーターを組み入れることで完成するので、生産性も高い。あくまで主役はダウンサイジングしたエンジンで、それをモーターがアシストすることで、動力性能と燃費性能の両方のメリットを得よう、という狙いが形になったものだ。

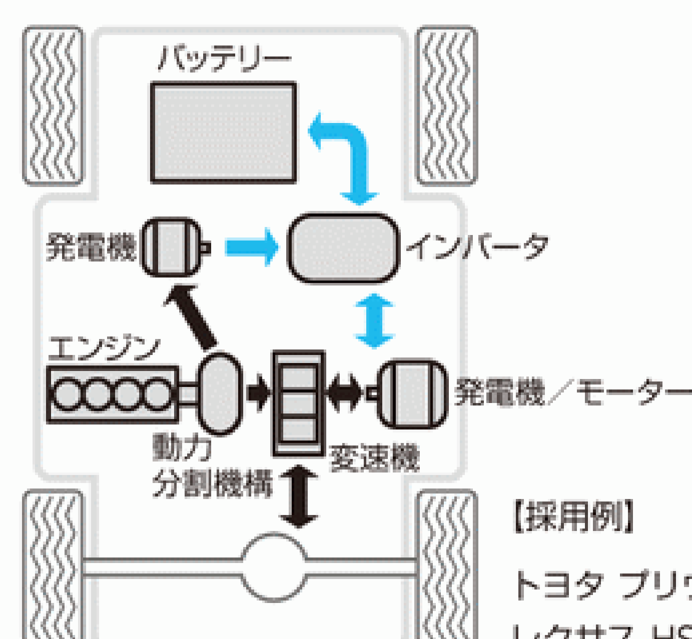


【採用例】
ホンダ インサイト
ホンダ シビックハイブリッド

シリーズ・パラレル方式

▶Series-Parallel hybrid

別名「スプリット方式（＝動力分割方式）」。エンジン動力をプラネタリーギアを用いた動力分割機構によって分割し、発電機とモーターに振り分けるシステム。発進／低速走行時はバッテリーに蓄えた電力で走行し、通常走行時にはエンジンを効率のいい回転域で使いつつ発電機を回してバッテリー充電も行う。



【採用例】
トヨタ プリウス
レクサス HS250h

性能を知るキーワード



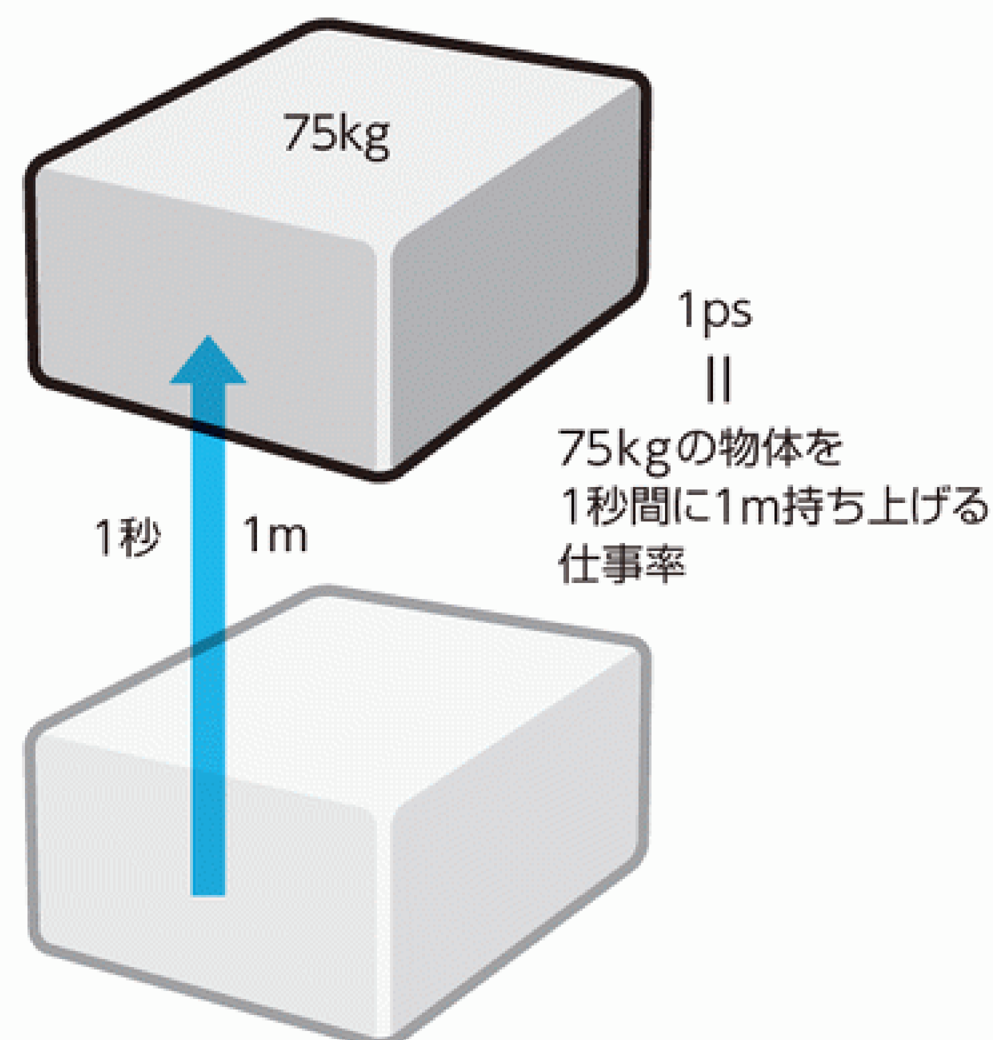
カタログのスペック表には、多くの数値や用語が並んでいる。クルマのエンジンの性能やポテンシャルを推し量るためには、その意味と読み方をしっかり把握していなければならない。

ここではエンジンのポテンシャルを知る上で目安となる基本用語を5つ取り上げた。馬力やトルク、排気量など、今まで当たり前のように思えた数値もその意味をきちんと理解することで、クルマの特性や性能がより深く見えてくるはずだ。

馬力

▶Horsepower

エンジンの性能を端的に表す数値が“ps”などで表記される馬力だ。1馬力は75kgの物体を1秒間に1m持ち上げる「仕事量」のことをいう。言い換えると100馬力のエンジンは1tの物体を1秒間に7.5m持ち上げられることになる。馬力は「トルク×回転数」によって求められるもので、たとえば、小排気量でも高回転型のエンジンであれば、大きな出力を発揮させることができる。なお、国際規格では“kW”表示が用いられる（1PS：0.735kW）。

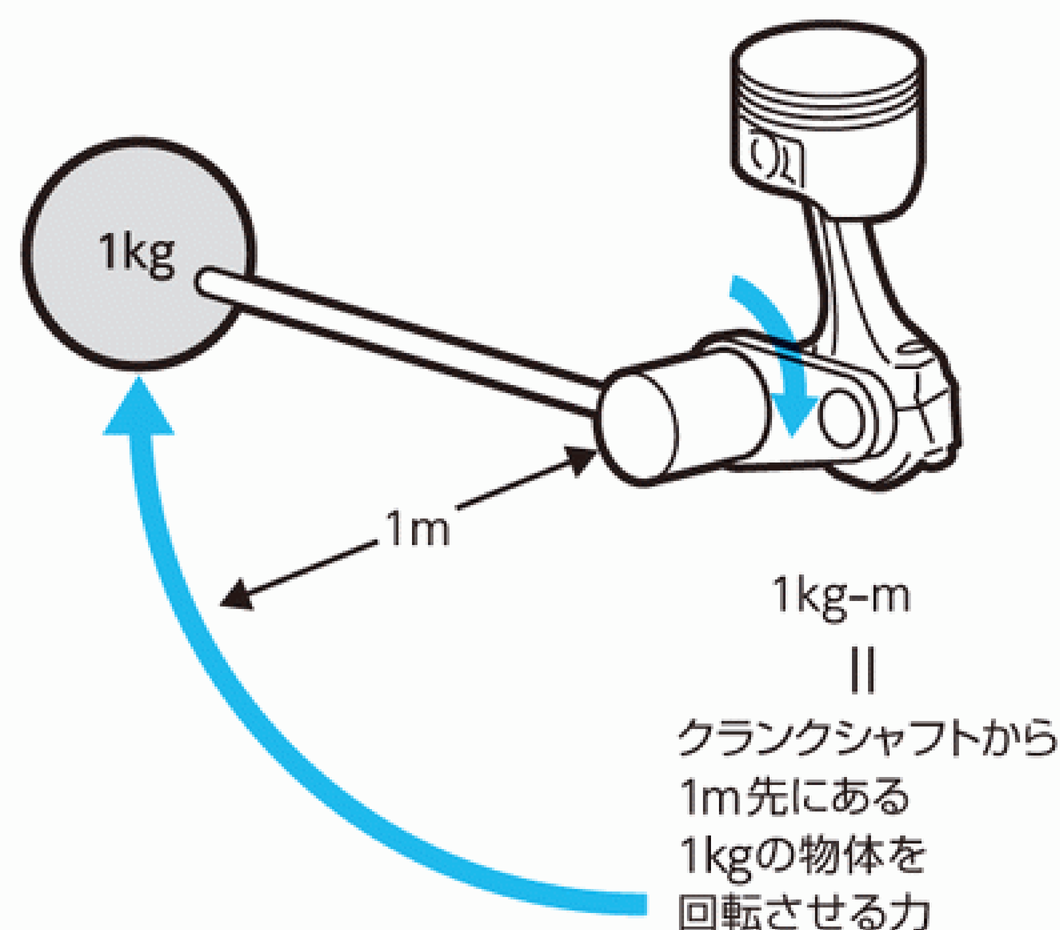


トルク

▶Torque

回転力を表す数値をトルクと呼び、1m先にあるナットを（1mの長さの）レンチで1kgの力を加えて回す時の回転力が1kg-mとなる。エンジンでいえば、クランクシャフトが持つ回転させようとする力を表している。燃焼エネルギーそのものに近いので、自然吸気エンジンでは排気量ごとに、同じようなトルクが得られるようになっている。

トルクが強いということは、エンジンの回転を維持しようとする力が強いわけで、ドライバーにとって扱いやすいエンジンということができる。



排気量／気筒数

▶ Displacement/Cylinder

排気量とはエンジンがどのくらいの混合気を吸い込めるかを知る目安で、レシプロエンジンでは「ピストンが往復する円柱の体積×気筒数」になる。気筒数とは1機のレシプロエンジンにあるシリンダーの数のことだ。

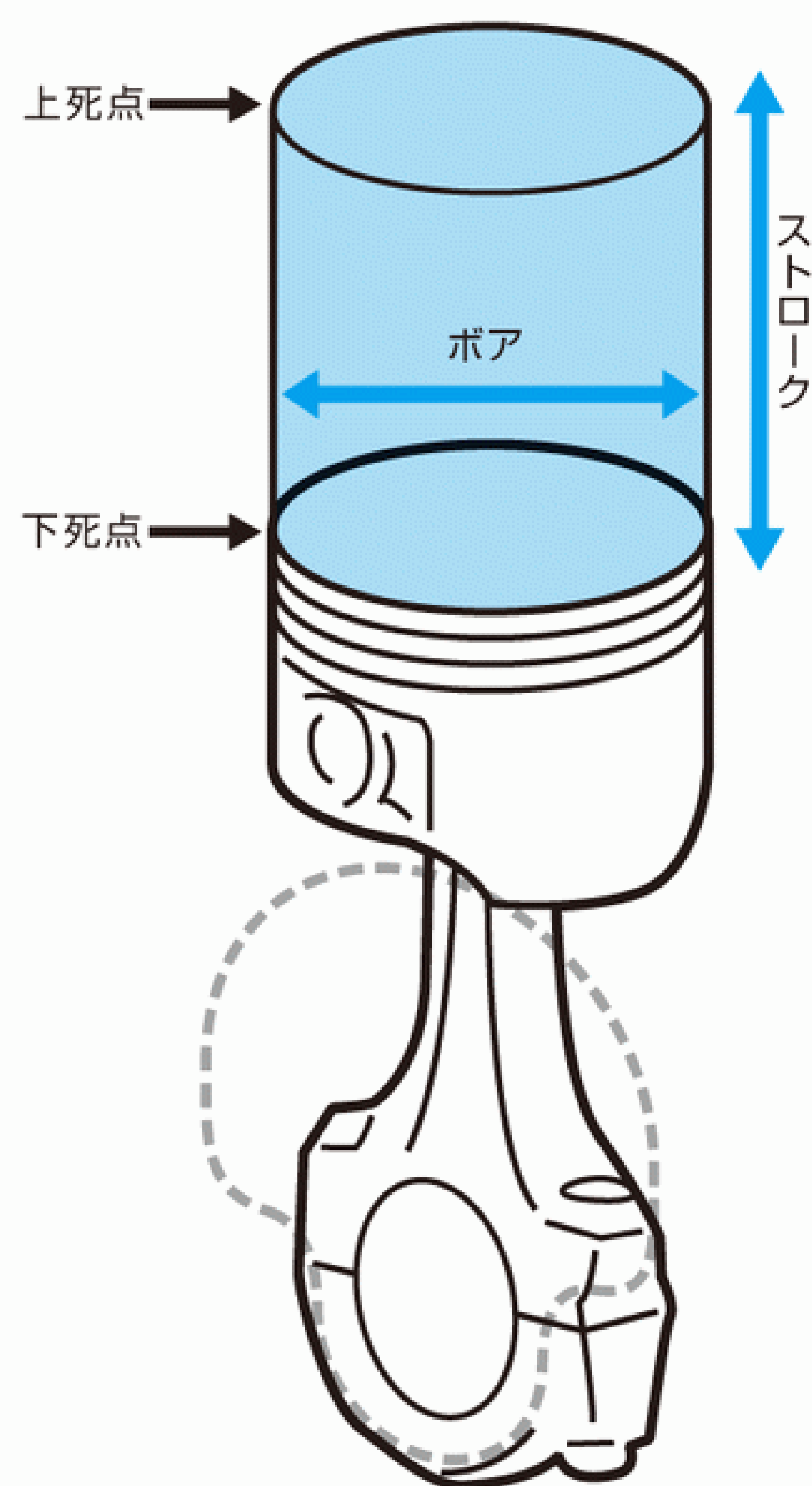
エンジンの排気量は大きくなるほどより大出力が得られるが、1気筒の容積があまり大きくなるとスムーズな回転が阻害される。そこで気筒数を増やすことで1気筒あたりの容積を抑えるわけだ。また気筒数が増えるとクランクシャフト1回転あたりのシリンダーの爆発数も増えるため、エンジン回転がスムーズになるという効果もある。

一般的に1気筒当たりの排気量は350～600ccが理想的とされるが、多気筒エンジンは非常にコストがかかる。このため実際の気筒数はボディサイズや車格によって決まることが多い。

ボアストローク比

▶ Bore Stroke ratio

シリンダー内のストローク（行程）をボア（内径）で割った値を「ボアストローク比」と呼ぶ。値が1より小さいものをショートストローク、1より大きいものはロングストローク、ちょうど1の場合はスクエアと言う。ボアストローク長はエンジンの特性にも影響する。一般的にロングストロークエンジンは低中回転域のトルクを生み出しやすいが、高回転域でのパワーが発揮しにくい。ショートストロークエンジンはその逆の特性となる。ちなみにピストンがシリンダー内の最上部にあるとき（もっとも押し上げられた状態）を上死点、反対の最下部にあるときを下死点と呼ぶことも覚えておこう。



圧縮比

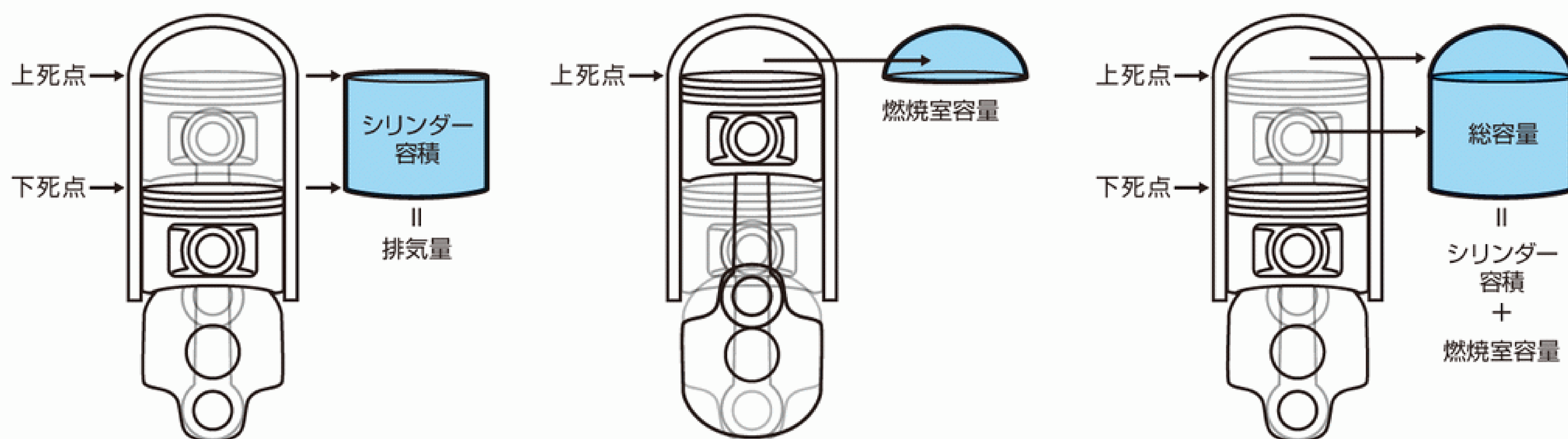
▶ Compression ratio

圧縮比とはエンジンが吸い込んだ混合気をどのくらい圧縮させるかを示す数値だ。エンジンパワーはこの圧縮比で大きく変わる。

圧縮比は、ピストンが押し下げられて最大になったシリンダー容積（＝シリンダーの総容積）を、ピストンがもっとも押し上げられて最小になったシリンダー容積（これを燃焼室容量と呼ぶ）で割れば求められる。シリンダー総容積とはピストンが上下する円柱の体積（＝排気量）に燃焼室容積を加えたものだ。

たとえば2000ccの4気筒エンジンの場合、1気筒当たりの排気量＝シリンダー容量は500cc。仮に燃焼室容量が50ccだとしたら、総容量500cc＋50cc＝550ccを燃焼室容量50ccで割り、圧縮比は「11」ということになる。

通常、自然吸気のガソリンエンジンでは圧縮比を9～11に設定している場合が多く、10を超えると排気量に対して高出力な設定といえる。一方過給器付エンジンでは7～9程度が一般的だ。



DRIVETRAIN

CHAPTER 02 Mechanism

パワーをスピードに換える駆動装置

パワーを有効に引き出し、実際の速さに結びつけるには適切なギアリングとトラクションが不可欠。駆動系パーツはエンジンパフォーマンスを大きく左右する。

トランスミッション

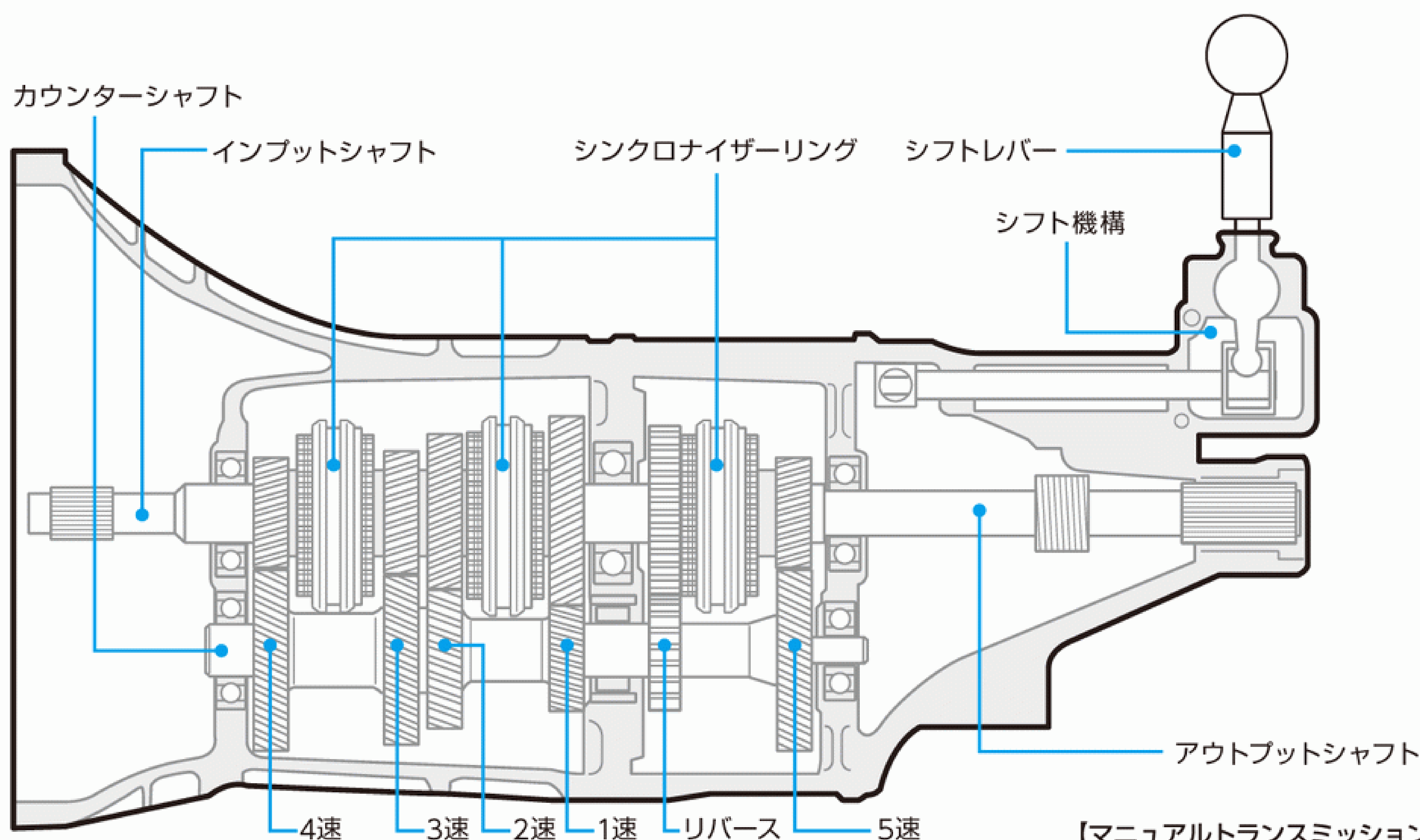
エンジンは1分あたり数百回転から数千回転で回る。この回転数はタイヤを回すには早すぎる。そこで歯車(ギア)を組み合わせることで、状況に応じた速度と力をエンジンから取り出す仕組みがトランスミッション(変速装置)だ。

歯車の原理を思い出そう。ある歯車をより大きな歯車と組み合わせると、大きな歯車は速く回転しない代わりに力を増幅させることができる。一方小さな歯車を組み合わせると小さな歯車は速く回転するが取り出せる力は小さくなる。

トランスミッションもこの原理を用いている。クルマがもっとも大きな力を必要とするのは発進の時。反対に高速を一定速度で走る時にはわずかなパワーしか必要としない。そこで発進時にはエンジンに大きな歯車を組み合わせて(=減速比が大きい)大きなトルクを生み出し、クルマを確実に前進させるのだ。

大きい歯車は、トルク増幅はできるけれど回転は遅い。これは、1速ギアの時、エンジンを回転限界まで回しても、時速わずか数十kmまでしか加速できないことからもわかるだろう。そこでトランスミッションは複数枚の歯車を用意し、徐々に歯車を小さくする(減速比を小さくする)ことで、走行状況に応じた速度や力を自在に操ることができるのだ。

実際のクルマは、エンジン直後のトランスミッションと、駆動輪手前にあるファイナルギアを組み合わせてギア比を作り出している。ギア比を変更することでクルマの走行特性を大きく変えることができる。特にサーキット走行では、サーキットに適したギアを選択することがタイムアップの大きな鍵になるといってもいいだろう。



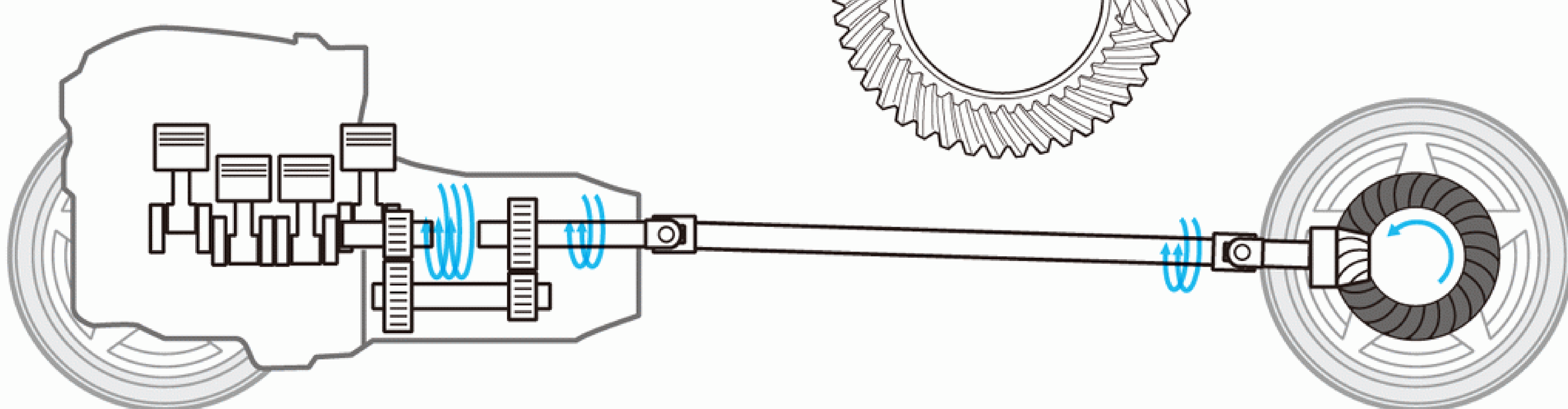
【マニュアルトランスミッションの構造図】

動力を効率よく引き出す。

ファイナルギア

エンジンと駆動輪の間に介在する駆動系の最後の減速ギア装置がファイナルギア。駆動系全体で見ればトランスミッションと補完関係にあり、エンジン回転をもう一度減速させてタイヤに伝える装置といえる。エンジンを縦に置くクルマでは、パワーの伝わる向きを90度変える役割も持っている。

ファイナルギアはトランスミッションとは独立しているので、交換が比較的容易だ。このためクルマの特性を大きく変えたい時の重要な要素となる。一般的にスポーツ性能を重視する場合はファイナルギアのギア比を大きくすることで加速性能を上げることができる（到達速度は低くなる）。逆に燃費性能に重きを置く場合はギア比を小さくすることで、エンジンの回転を低くすることができる。



2ペダルトランスミッションの種類

AT
▶Automatic transmission

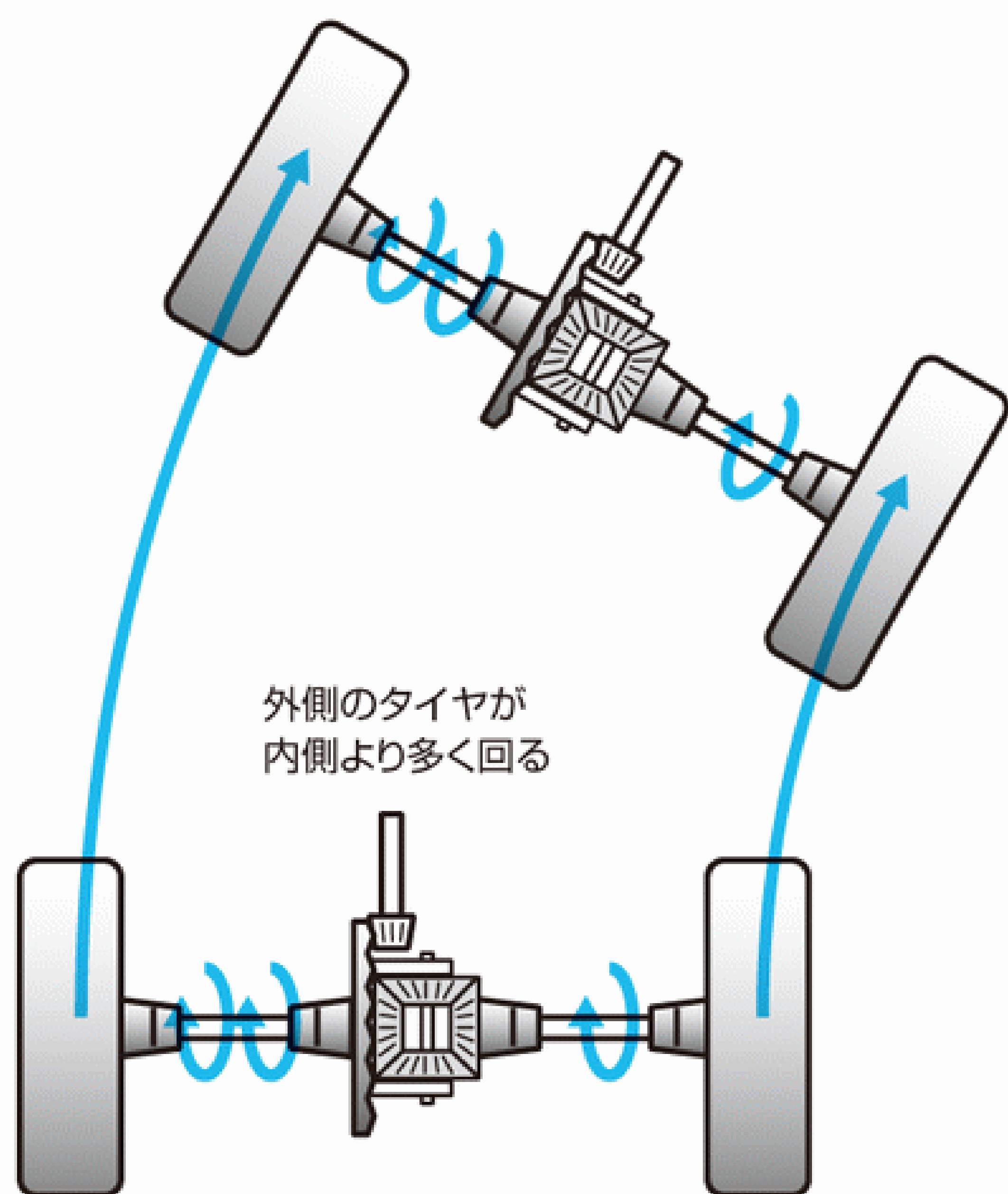
正確には“オートマチックトランスミッション”。エンジン動力の断続にトルクコンバーター（流体クラッチ）を用い、車速やエンジン回転数に応じて変速比を自動的に切り替える機能を備えた、現在主流となっているトランスミッション。内部のギアはプラネタリーギアを使い、油圧によって制御している。滑らかな変速にメリットがあるものの、油圧による滑りやロスが発生してしまい、燃費の面で不利になっている。

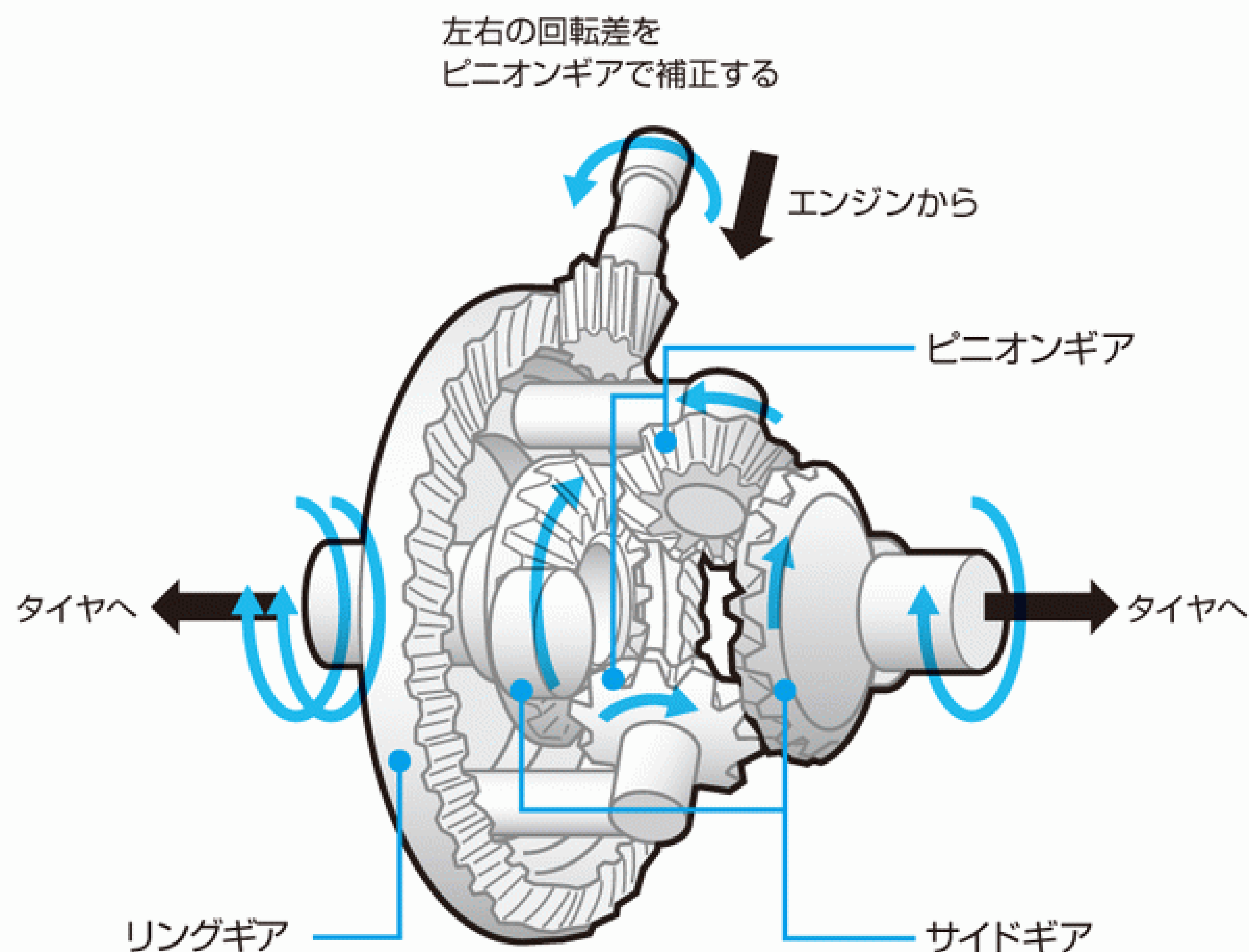
CVT
▶Continuously variable transmission

“無段変速機”や“連続可変トランスミッション”とも呼ばれる。通常のトランスミッションのような歯車の切り替えによる変速ではなく、金属製のベルトやチェーンなどでつないだ、2つのプーリー（滑車）やディスクの径を変化させることによって変速比を連続的に変化させる。変速ショックは皆無で、さまざまな走行状況で、もっとも効率のいいエンジン回転域のみを使って走ることができる。

DCT
▶Dual clutch transmission

“デュアルクラッチトランスミッション”はマニュアルトランスミッションの操作を、2つのクラッチを使って自動化したもの。奇数ギアと偶数ギアを別々の軸に分け、それぞれをクラッチで瞬時に切り替えることでマニュアル以上の変速性能を実現している。ATではプラネタリーギアの回転限界によって、使えるエンジンの最高回転数に制限があるが、DCTには高回転エンジンも組み合わせられる。スポーツ系だけでなく、エコカーにも有効なトランスミッションだ。





デファレンシャルギア

駆動輪が左右にあるクルマにとってデファレンシャルギアは必需品だ。完全な直進走行では不要だが、コーナーを曲がる時に大切な役割を果たす。単に"デフ"と呼ぶことも多く、日本語でいえば差動歯車機構となる。

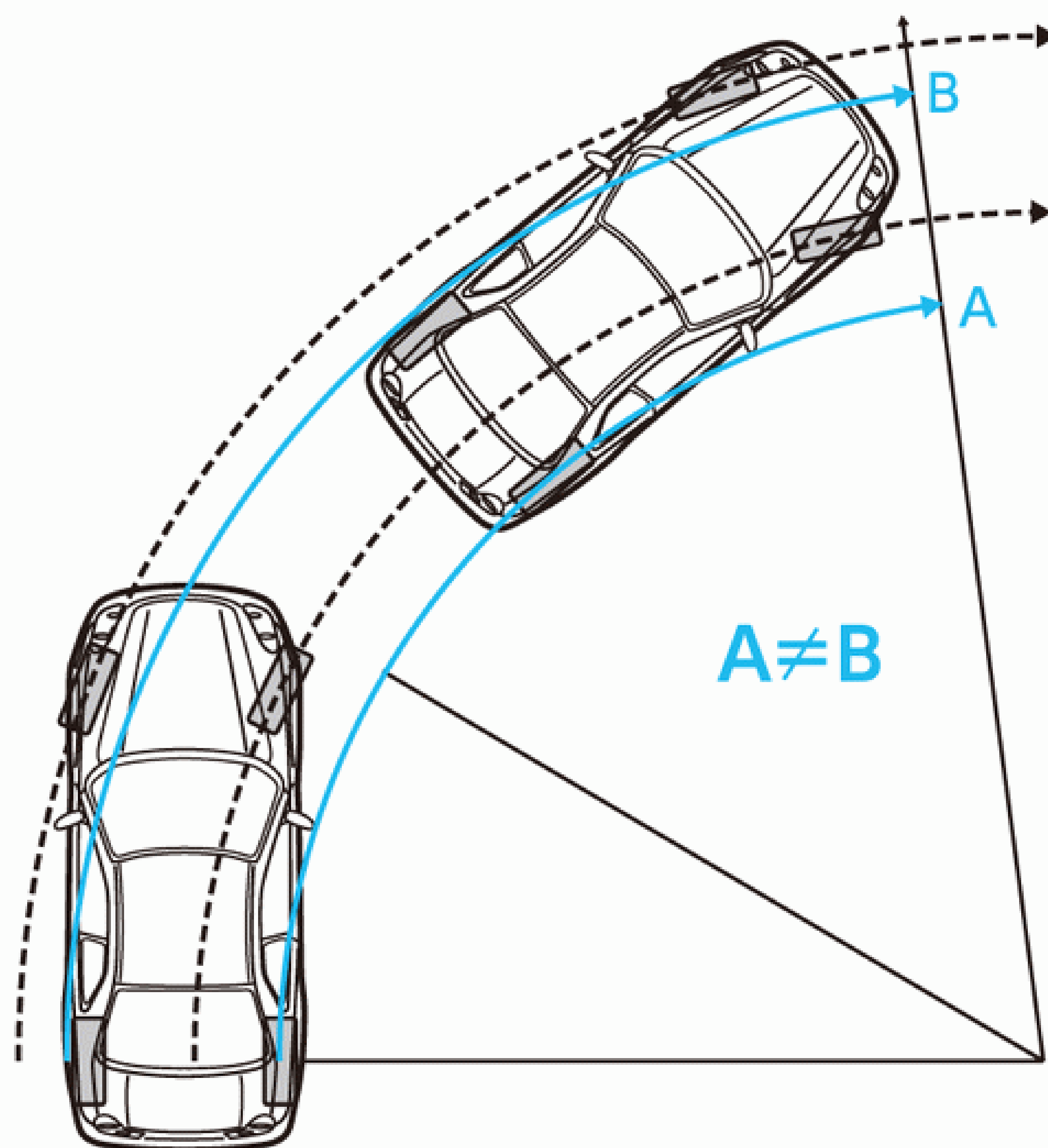
コーナリングの際、コーナー外側のタイヤは内側のタイヤよりも長い距離を走る。この距離の違いに応じてタイヤに回転差をつけないと、内側のタイヤが突っ張るような動きをしてクルマは曲がらなくなる。この差をうまく吸収するのがデフというわけだ。デフは左右の駆動輪の間に、ファイナルギアと一体化されて組み込まれている。

右上の図を参考に仕組みを説明しよう。ファイナルギアから来たエンジンパワーはリングギアに伝わる。リングギアには2つのピニオンギアが固定されていて、このピニオンギアは2つのサイドギアの周囲を公転するようになっている。サイドギアは2つあって、それぞれ左右の駆動輪へと繋がっている。

普段クルマが直進しているときは、ファイナルギアの回転に合わせてピニオンギアがサイドギアの周囲を回り、サイドギアにエンジンパワーを伝えている。この場合、左右の駆動輪には同じトルクが分配されている。

ところがコーナーで旋回状態になると、コーナー内側のタイヤに抵抗が生まれて、その抵抗がドライブシャフトを通じて内輪のサイドギアへ伝わる。するといままでサイドギアの周囲を回っていたピニオンギアが公転と同時に自転するようになり、外側のタイヤと内側のタイヤの回転差を調整するのだ。

こうすることでエンジンのパワーは、抵抗を生んでいるコーナー内側にわずかに、外側のタイヤに多めに分配されて回転差が補正されるのである。



スムーズに、力強く曲げる。

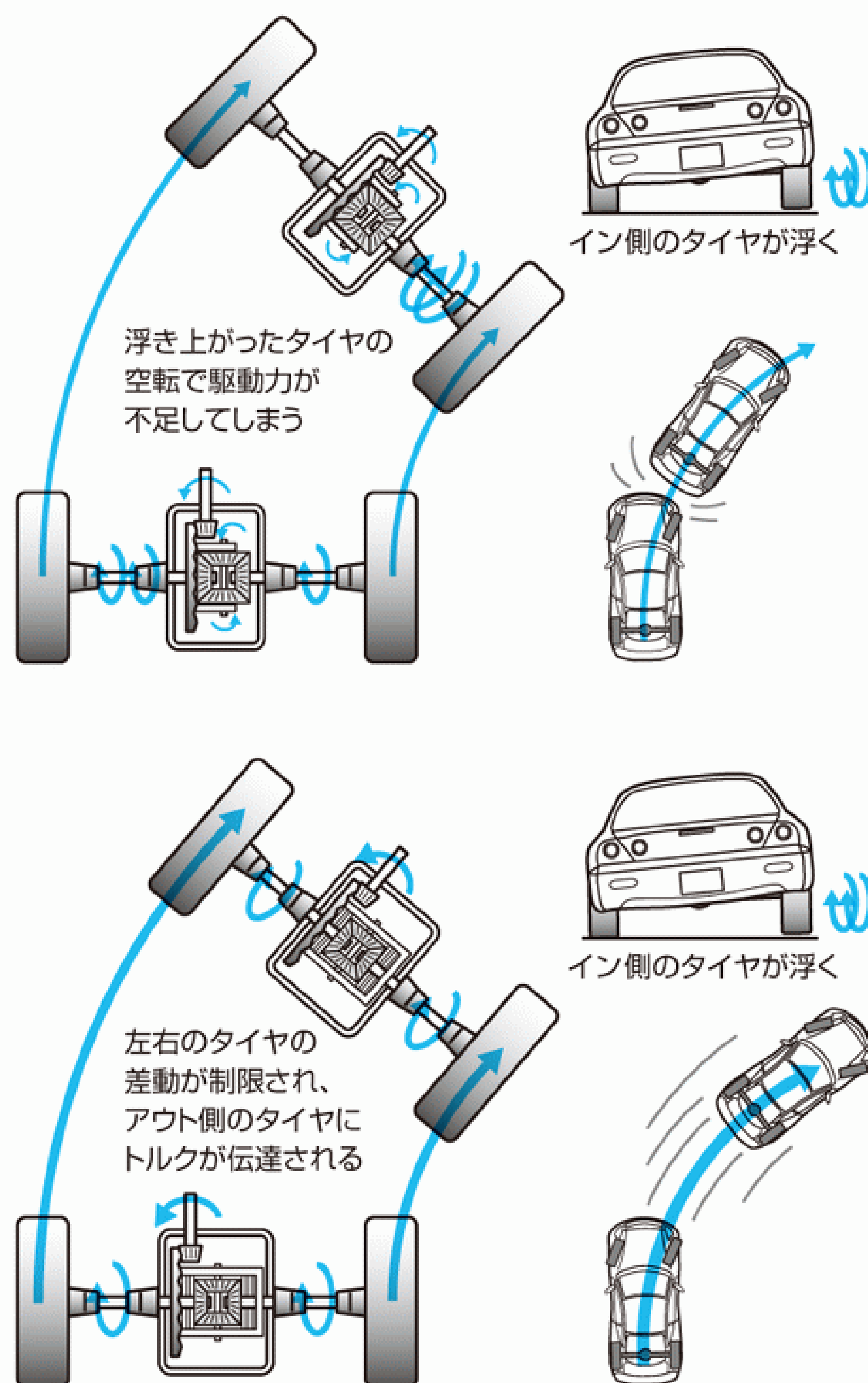
LSD［リミテッドスリップデフ］

コーナーでのデファレンシャルの役割は述べたとおりだが、デフには機構上弱点がある。それは、デフを組み込んだ駆動輪のうち1輪が接地しなくなると、他の駆動輪に駆動力を伝えなくなる点だ。接地しないタイヤは空転する。デフは空転するタイヤの回転差を補正しようとして、このタイヤだけに駆動力を伝えてしまうのである。ぬかるみや雪道でスタックするクルマをよく見ることがあるが、たいていはデフのこの性質によるものだ。

そこで左右の駆動輪に一定以上の回転差が生じた場合、デフの機能を制限するのがLSD（リミテッド・スリップ・デファレンシャル）だ。

LSDの原理は、ドライブシャフトにつながるサイドギアの回転を一定に抑制する機構を組み込むことで、両輪に駆動力を確実に配分しようというものだ。具体的な方式には多板クラッチ式、電子制御式、ギアの噛み合いとその軸方向に発生する力を摩擦力などに変えるもの、粘性流体のせん断抵抗力（物質内のずれに逆らう力）を用いたものなどがある。

スポーツモデルでは、ぬかるみなどからの脱出といった目的よりも、駆動力の確保、さらには操縦性を向上させる目的でLSDが使われていることも覚えておこう。



LSDの種類

トルク感応式
▶ Torque sensing type

特殊なギアを組み合わせた方式。左右の駆動輪にトルクの差が発生すると、ギアの歯面抵抗が増すことで差動制限を行う。差動制限力が大きいため、サーキット走行のように常に大負荷で走る場合に有効で、差動制限が開始されるまでの反応時間も短い。多板クラッチ式のほかトルセン式、ヘリカル式など種類は豊富。

回転感応式
▶ Revolution sensing type

差動制限にギアではなく、高粘度のシリコンオイルを使う。オイルのせん断抵抗を利用したビスカス式が代表的で、ほかにオイルがオリフィス（小さな穴）を通過する際の抵抗を利用したオリフィス式がある。トルク感応式と比較して差動制限力は控えめで、レスポンスもやや緩慢だが、その分、低μ路では扱いやすい。

アクティブ制御式
▶ Active control type

電子制御式。コンピュータが各種センサーからの情報をもとに、能動的に差動制限を行う。ラリーなどの競技車両で用いられることが多く、WRCでの使用は一般的だが、一部の市販車でも採用されている。差動制限力のコントロールは摩擦板の圧力制御で行い、油圧式と、電磁クラッチを使用する2つのタイプがある。

BODY

CHAPTER 02 Mechanism

走りを支えるクルマの骨格

エンジンやトランスミッション以上に走行性能に影響をおよぼすのがボディワーク。操縦性の良否をも決定付けるクルマの基礎であり基本。

ボディに求められる性能

ボディはエンジンやサスペンションと並んでクルマの性格を左右する、クルマの骨格である。ボディには「剛性」と「強度」、さらにはそれを実現した上での「軽さ」が求められる。剛性は「変形のしにくさ」、強度は「壊れにくさ」と言ってもよい。

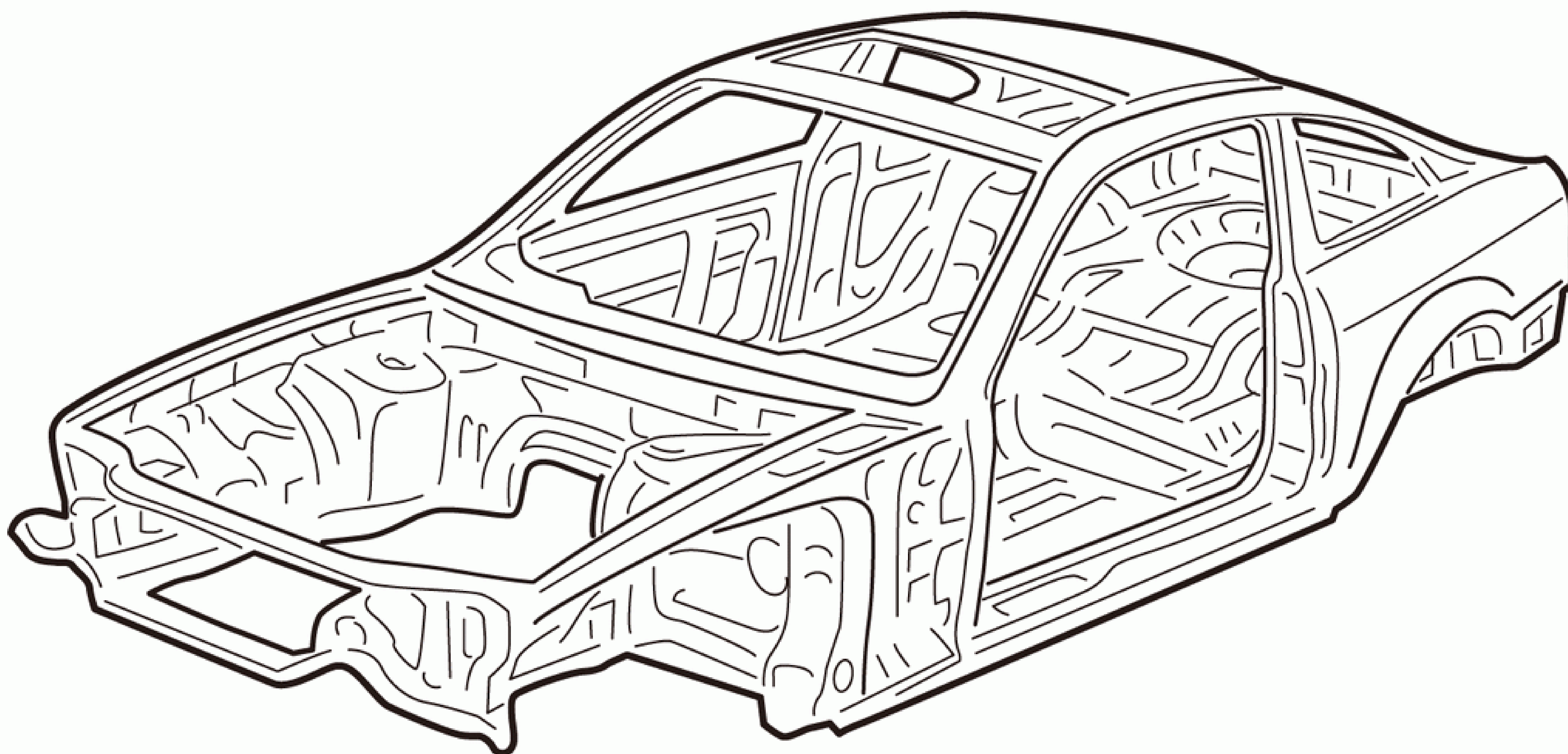
特に走行性能に大きく影響するのは剛性だ。たとえば凹凸路の通過やコーナリングなどで負荷が加わった時、ボディが変形しにくいことを「剛性が高い」という。

仮に変形したとしても瞬時に復元すればサスペンションを正しく動かすことが可能で、タイヤの接地性も上がる。剛性が高ければ路面にパワーを伝えやすくなり、挙動が安定して運転もしやすくなる。逆に容易にボディが変形すれば、パワーを正確に路面に伝えることができず、操縦性も著しく損なわれてしまう。

ボディへの衝撃は一定ではなく、ゆっくり入ってくるものもあれば、急激に入ってくるものもある。クルマのカタログには“曲げ剛性”や“ねじり剛性”といった表記があるが、これはゆっくりとした入力に対する剛性であることが多い。しかし真の高剛性ボディとは、激しく揺さぶられるような瞬間的な衝撃にも耐え得るボディをさす。

一方強度は、硬さや強さと考えればいい。強度が低いと衝突時にボディが受けるダメージは大きい。かといって戦車のような強度を持たせれば、壊れない代わりに激しい衝撃が乗員に加わるのは避けられない。

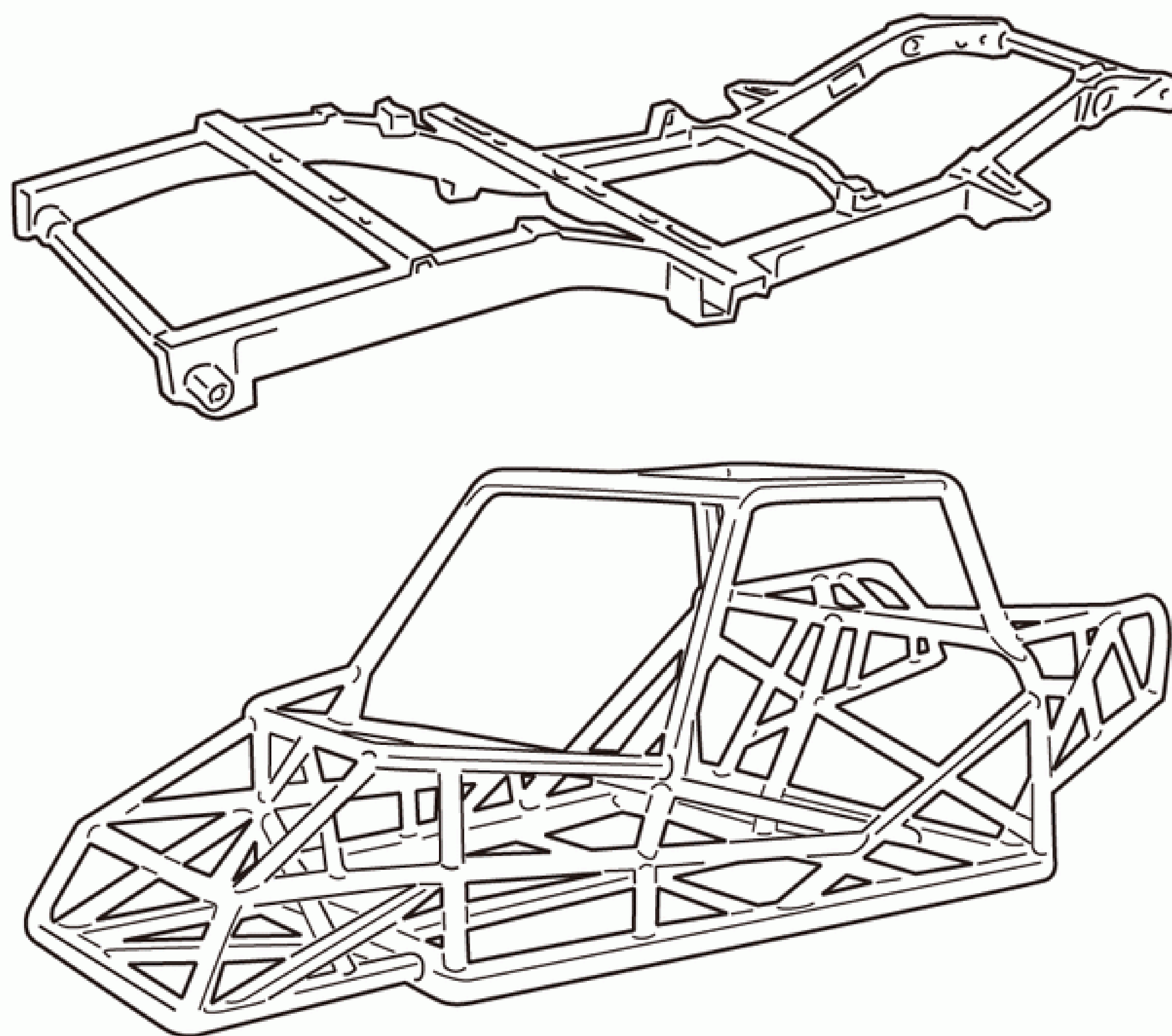
クルマのボディでは、こうした剛性と強度を高い次元でバランスさせることが求められる。簡単に剛性と強度を高める手段は補強だが、補強ではクルマの重さが重くなることが避けられない。ルーフを持たないオープンカーがフロアなどに補強を施し、結果的に重くなってしまうのはこれが主な理由だ。



強度と剛性の確保。

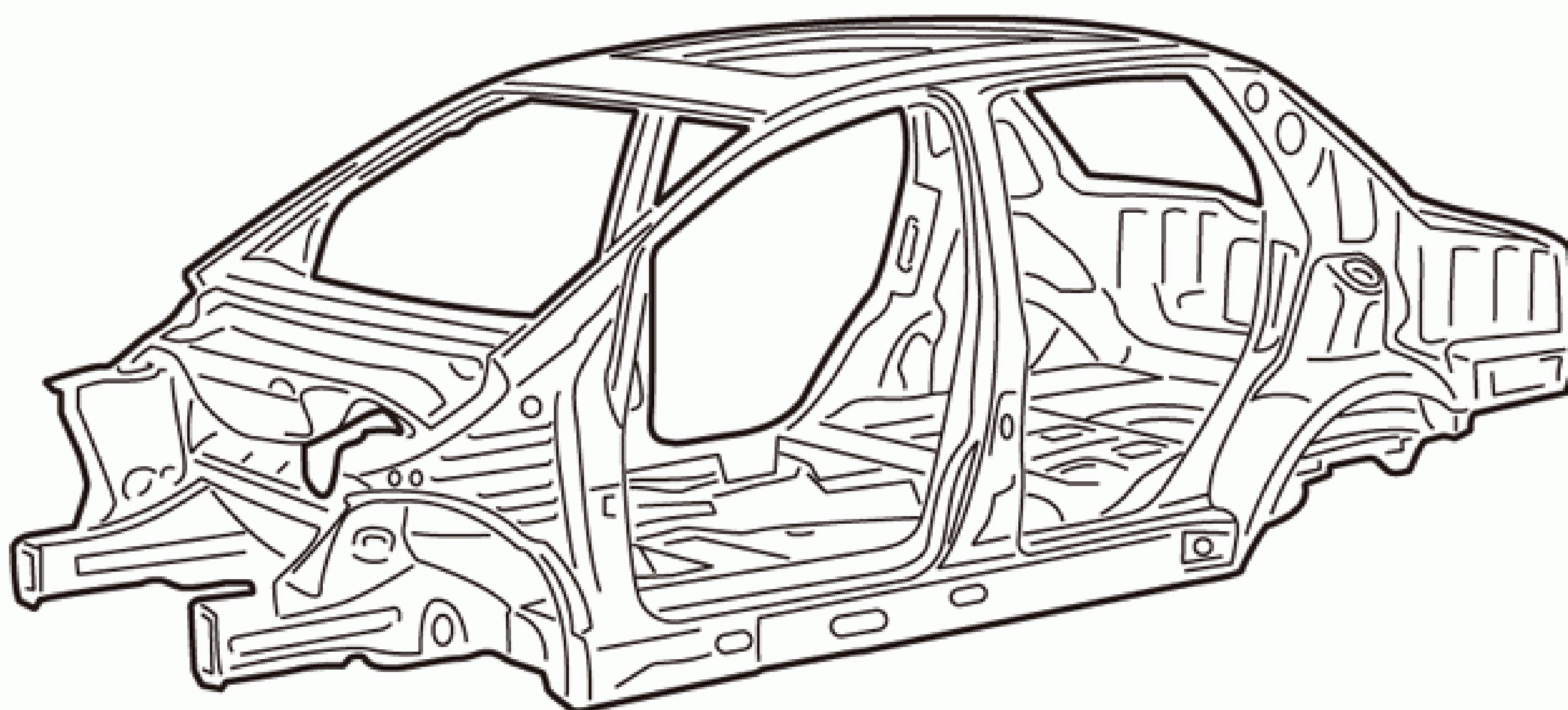
フレームボディ
▶ Frame body

“セパレートフレーム”あるいは、“ボディ・オン・フレーム”とも呼ばれる。エンジンやトランスミッション、サスペンションなどを取り付けた強固なフレームに、別に作製したボディを架装する構造。ハシゴ型を始め、バックボーン型、ペリメーター型、プラットフォーム型があり、なかでもハシゴ型は、比較的製作コストを安く抑えることが可能で、強度を確保しやすいことからオフロード車などに採用されることが多い。多数の小径鋼管を溶接し、ボディパネルを被せる“マルチチューブラーフレーム”も、フレームボディの一種だが、こちらは非分解式。高剛性と軽量を両立させやすく、改造や修理も容易なことから、レーシングカーや少量生産のスポーツカーで採用されることが多い。



モノコックボディ
▶ Monocoque body

フレームとボディを一体にした現代のボディ構造の主流。特徴は、卵の殻のように、ボディパネルを主体とする構成パーツ全体でボディの強度を保っている点にあり、軽量かつ高剛性。フロア高を低くできる点でも有利で、さらに、衝突時のエネルギー吸収性にも優れる。エンジンやサスペンションをボディに直接取り付ける構造のため、過去には、乗り心地や騒音面でフレーム構造のクルマに劣るとされていたが、サスペンションの進化やマウント技術の向上で、こういったデメリットも完全に過去のものになっている。



BRAKES

CHAPTER 02 Mechanism

Brakes

車速を落とす熱交換器

クルマの走るエネルギーを熱エネルギーに換えて減速。エンジンパワーに勝るストッピングパワーは当然、過熱に対する十分な対策も求められる最重要パーツ。

構造と原理

クルマのブレーキは、運動エネルギーを熱エネルギーに変換して速度を落とす装置だ。停止したクルマが動きださないように固定させる役割も担っている。

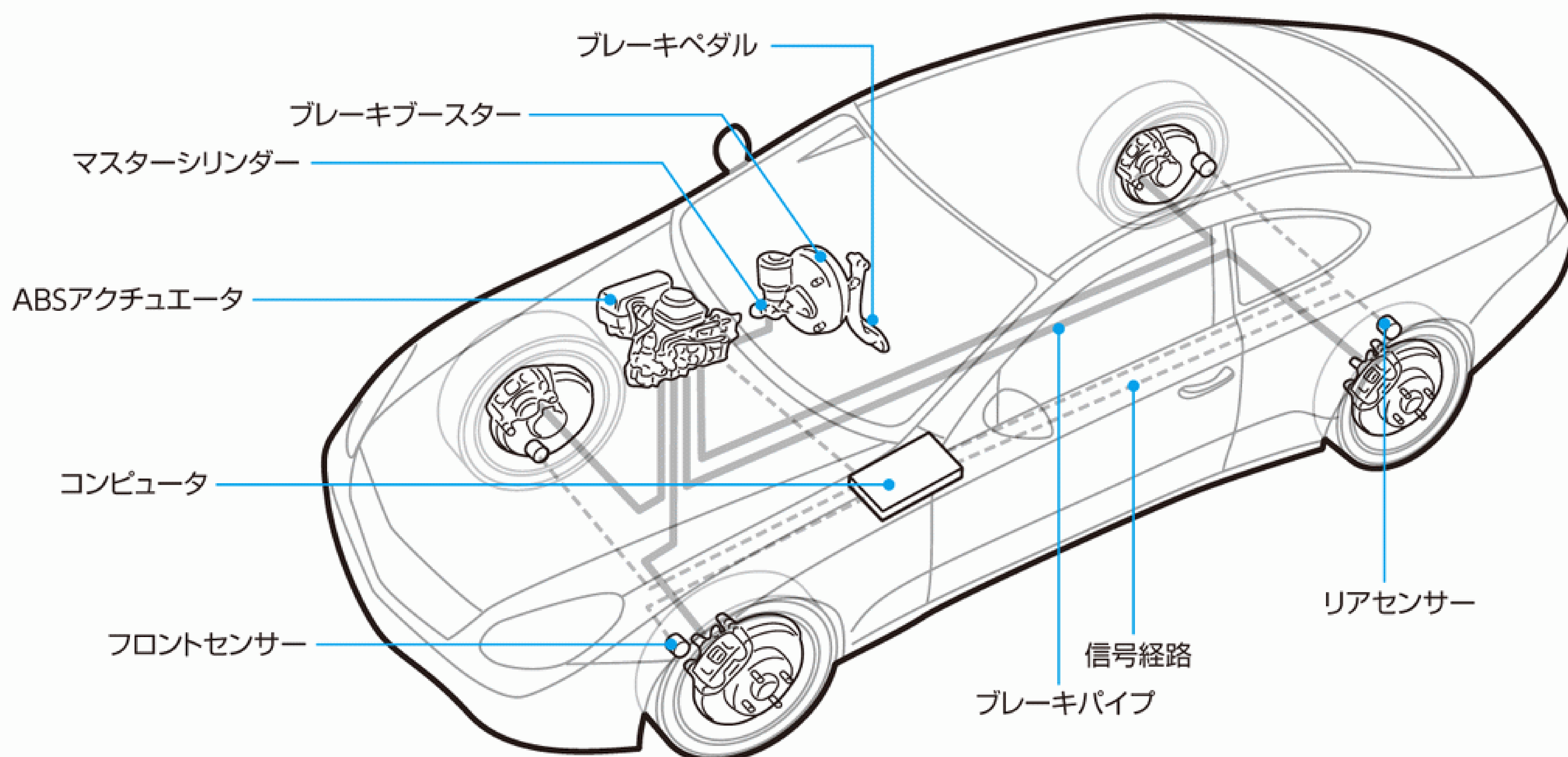
ブレーキの基本構成要素には、ドライバーの入力を受け付ける操作装置、操作力を伝える液圧回路、そして肝心の制動装置そのものがある。さらに最近は操作力を増幅させる倍力装置が液圧回路に組み込まれるようになり、タイヤのロックを防ぐABSも装着されるようになった。

ブレーキペダルと制動装置は液圧回路を通して繋がっている。液圧回路にはパスカルの原理が作用するため、ブレーキペダルの先には断面積の大きなシリンダーが繋がっている。このシリンダー内で生まれた圧力が増幅されてパッドやシューに伝わる仕組みだ。パッドやシューは摩擦材であり、これをブレーキディスクやドラムに押し付けることで運動エネルギーが熱エネルギーに変換され、車速を落とすのである。

液圧回路を流れるのはオイルではなく専用のブレーキ液だ。ブレーキ液はブレーキの発熱に対して沸騰しにくいものが求められ、沸点によっていくつかの種類がある。

高速道路の整備が進むに従って、乗用車の前輪ブレーキはドラム式からディスク式に主流が移行した。ディスク式ブレーキは、キャリパーに保持されたパッドでディスクを両側から挟み込んで制動力を発揮させるものだ。

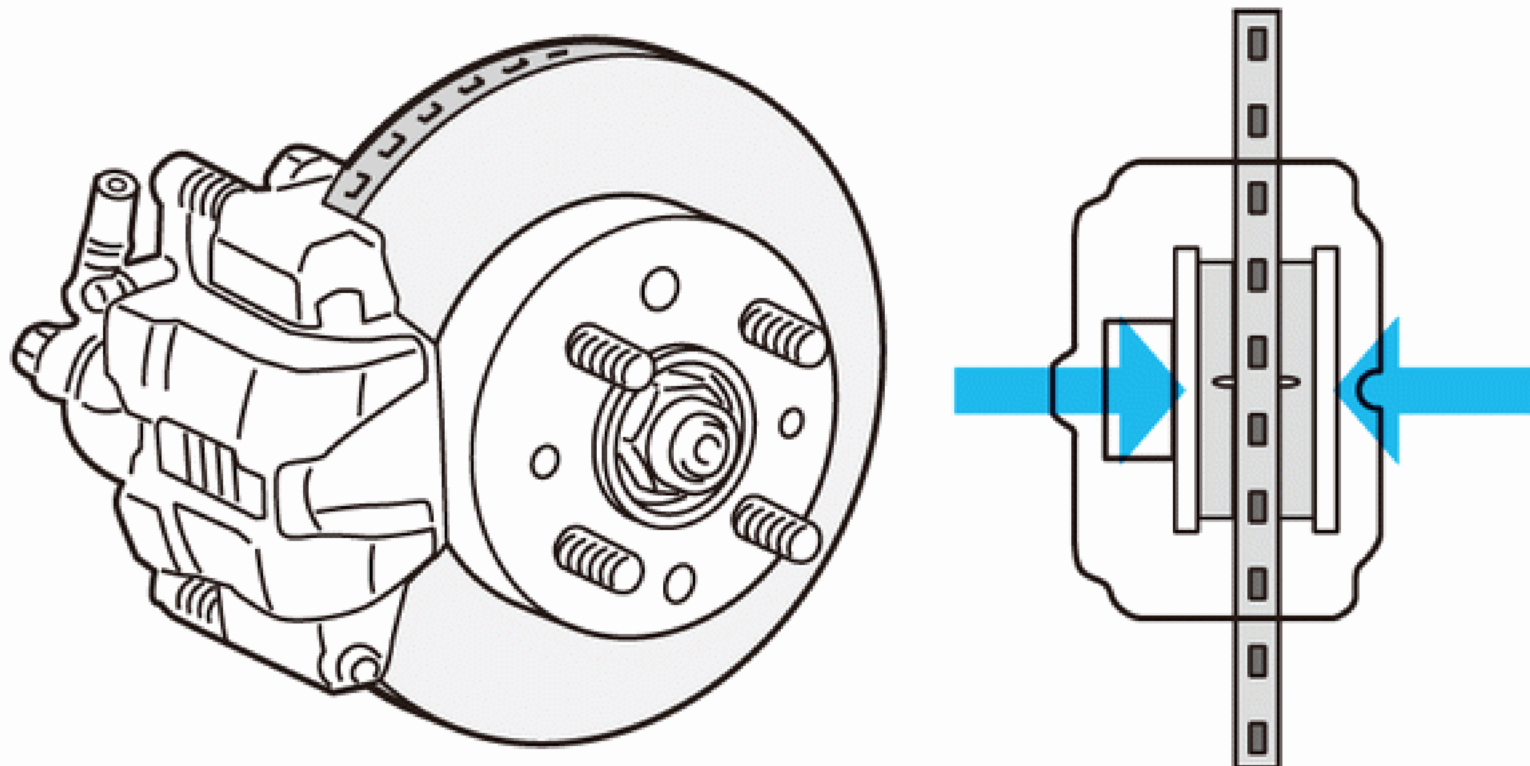
ディスク式ブレーキはさらなるクルマの高性能化にともなって、冷却性能に優れるベンチレーテッドディスクへと進化した。キャリパーも簡易な構造のフローティングキャリパーから対向ピストンタイプの大型高性能キャリパーへと進化している。



ブレーキを踏むとなぜ止まる?

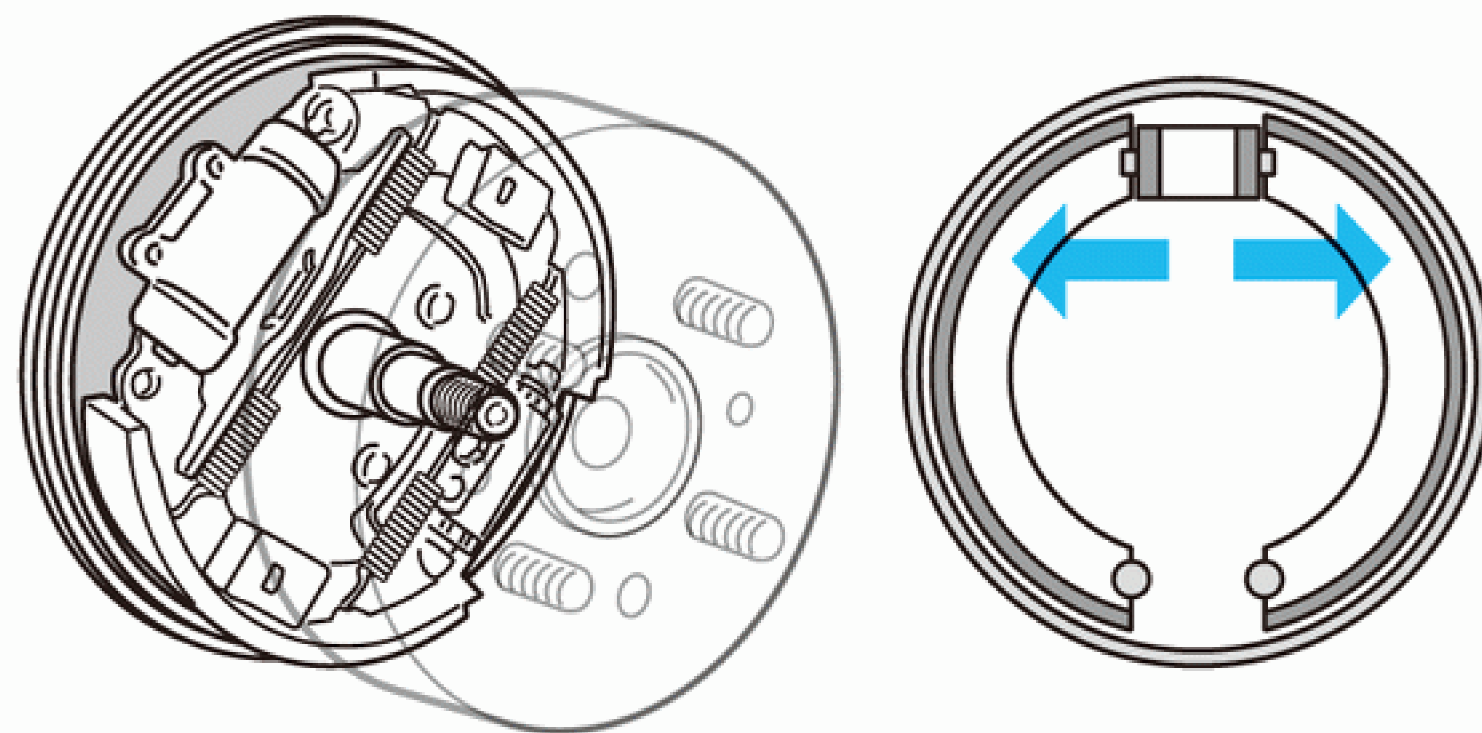
ディスク式
▶ Disc type

ホイールとともに回転する金属製の円盤(ディスク)を両側から挟み込むことで制動力を発揮させる。ディスクを始めとした構成部品のほとんどが外に露出しているため、通風性、放熱性ともに優れ、過熱しにくいのが最大の長所。また、ディスクに水が付着した場合も、自らの回転で水を飛散させてしまうため摩擦係数が極端に低下しない点もメリット。ペダル踏力による微妙な制動力のコントロールが行いやすい反面、自己倍力効果はなく、停車時の拘束力はドラム式に劣る。



ドラム式
▶ Drum type

ホイールとともに回転する円筒形をしたドラムの内側にブレーキシューを押し付けて制動力を得る方式。放熱性が悪いためディスクブレーキより過熱しやすく、ブレーキ内部に水が入った場合も摩擦力の回復に時間がかかる。ただし、制動時にはシュー自らがドラムに食い込む方向に動くため、大きな拘束力を発揮(自己倍力作用という)。乗用車ではブレーキの負担が小さい後輪側に装着されるケースが多い他、大型車では後輪のディスクブレーキの内側にパーキングブレーキとして組み込まれている。



摩擦熱によるブレーキトラブル

フェード現象
▶ Fade

ブレーキを酷使した時、制動力が極端に低下する現象。具体的には、摩擦材であるパッドやライニングが過熱してガスを発生。そのガスがディスクやドラムとの間で、一種の潤滑剤のように作用して摩擦係数を低下させる。

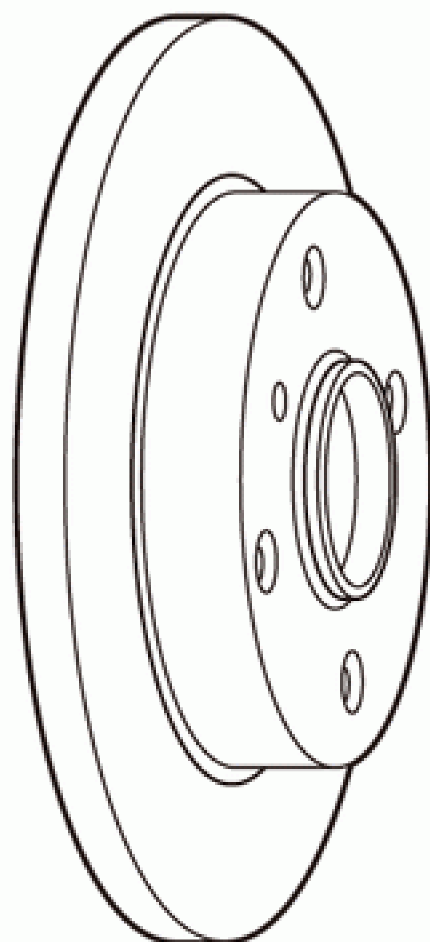
ベーパーロック現象
▶ Vapor lock

過熱したパッドやライニングの熱がブレーキフルード=作動油を沸騰させ、ブレーキラインの中で気泡を生じる現象。ペダルを踏み込んでも正規の圧力でフルードを送り出すことができなくなり、最悪、制動力が立ち上がらない状況に陥る。

ディスクの種類

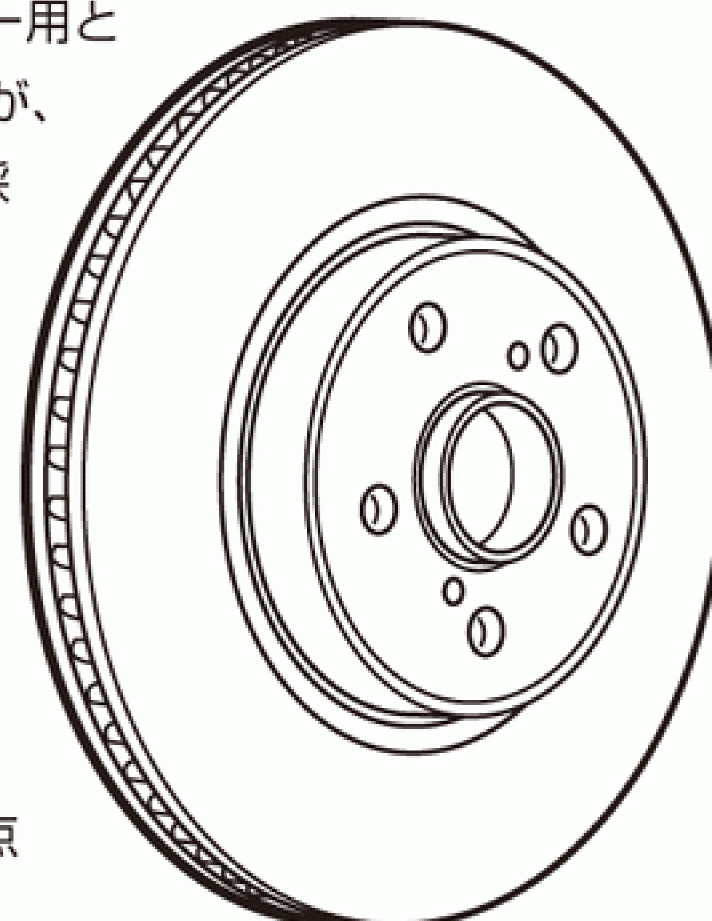
ソリッドディスク
▶ Solid disc

一枚の円盤を使用したもっともベーシックなタイプ。ベンチレーテッドタイプと比較すると放熱効果は劣るが、低コストでできるため、軽自動車のフロントブレーキに採用されたり、4輪ディスクでも制動時の負担が少ないリアブレーキ用として用いられることが多い。ベンチレーテッドタイプも含め、ディスクには摩擦熱に強く、放熱効果が高い素材が求められることから鋳鉄製が主流。



ベンチレーテッドディスク
▶ Ventilated disk

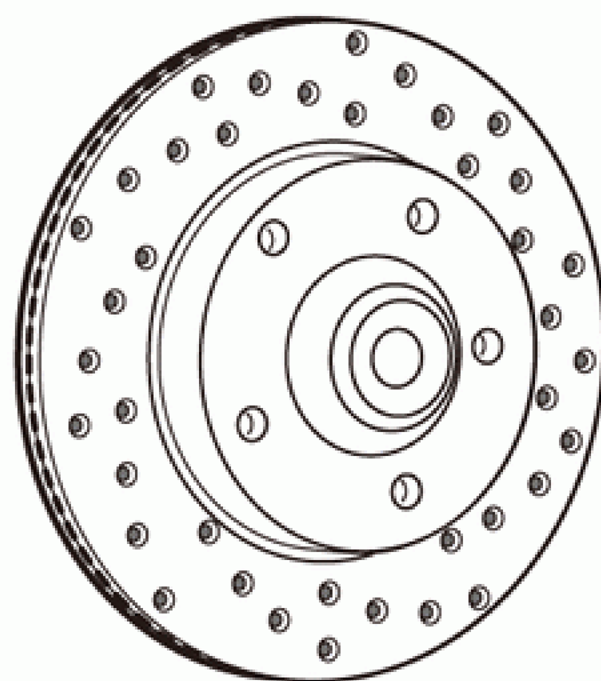
2枚のディスクを貼り合わせ、その間に多数の放熱用の孔を設けたもの。当初はレーシングカー用として開発・採用されていたが、現在では乗用車にも多く採用されている。ソリッドタイプと比較してディスクの表面温度を概ね30%程度低くできることから、より耐熱（フェード）性を高め、パッドの寿命も延ばすことが可能。ただし、厚みがあるため、若干重くなる点がデメリット。



さらに進化したベンチレーテッドディスク

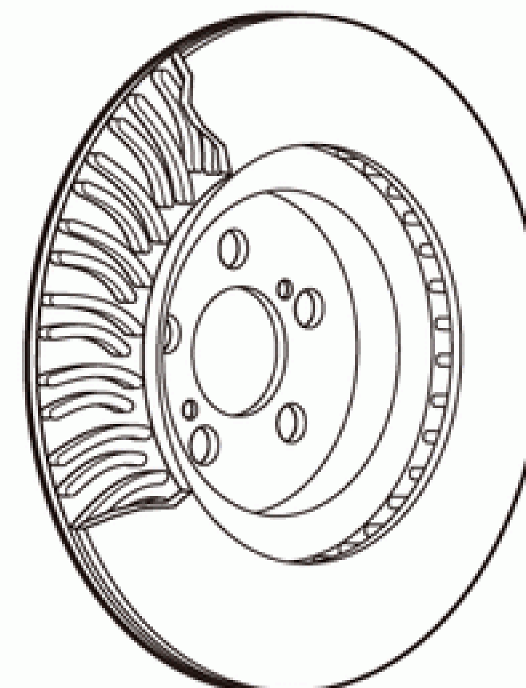
ピンホールタイプ
▶ Pinhole type

一般的にベンチレーテッドディスクの摩擦面に、さらに多数の穴を開けて放熱性、および冷却効率を高めたタイプ。"ドリルドディスク"とも呼ばれ、レーシングカーや高性能スポーツカーでは高い頻度で採用されている。穴は制動時に生じる摩擦粉の除去にも有効で、同様の効果を目的に、表面に溝を掘った"スリットディスク"もある。



スパイラルフィンタイプ
▶ Spiral fin type

ディスクを2枚貼り合わせた内側の放熱用フィンをスパイラル（螺旋状）にしたタイプ。フィン形状はディスク内の気流の数値解析に基づいて最適化されていて、車輪の回転とともに効率的に摩擦熱を放出することができる。高性能スポーツカーのほか、車重の重いハイパワーサルーンにも用いられている。



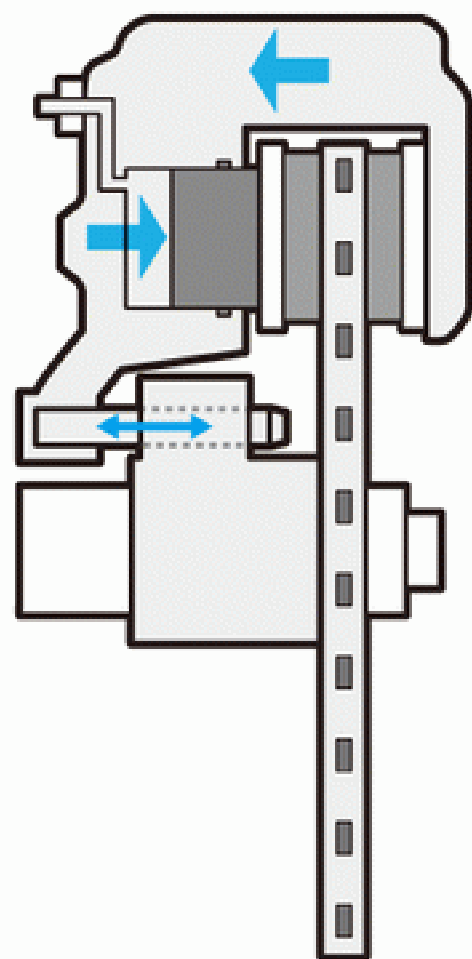
ディスク、キャリパーいろいろ。

キャリパーの種類

フローティングタイプ

▶ floating type

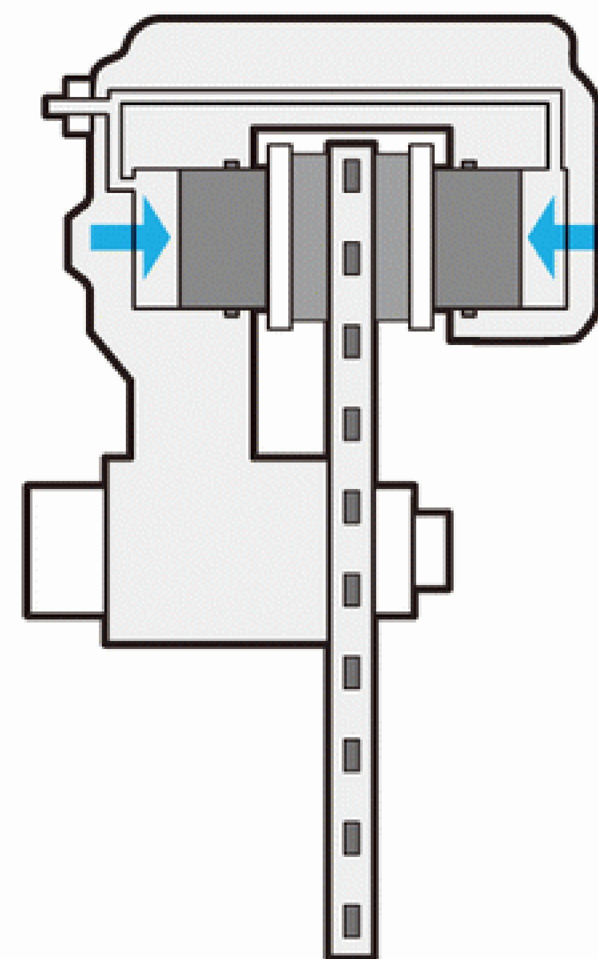
キャリパー内に、パッドを押し出すブレーキピストンを片側にだけ持つタイプで、片押し式と呼ばれることもある。ブレーキペダルからの油圧を受けるピストンは片側にだけ存在し、その反力によって反対側のパッドをディスクに押しつけるように作動する。ディスクに対する当たりがつねに調整され、左右のパッドのタイムラグが変化することもなく、いつも同じタッチのブレーキングが可能になる。キャリパー自体のサイズが小さいので軽量であり、高温になって歪んだディスクブレーキへの対応もできる。サーキットでの連続走行などでは効きの低下が発生するものの、一般的な使用では何ら問題のない性能を持っている。



対向ピストンタイプ

▶ Opposite piston type

ブレーキピストンを左右に持ち、両側からディスクにパッドを押しつける方式。大きく重くなってしまうのでキャリパーをアルミにせざるを得ないので、キャリパー剛性を維持するのが難しい。サーキットでのスポーツ走行では有効だが、本来の性能を発揮するためにはディスク側にも対策が必要。そうしないと熱による歪みでディスクが傾き、パッドがしっかりと当たらなくなってしまう。ブレーキの大径化に対応して、市販車でも4ポッド、6ポッドといった複数のピストンを使ったパッド面積の広いものが登場している。アルミホイールのすき間から見える大型の対向ピストンは、クルマの高性能ぶりをあらわす強力なアイコンでもある。





SUSPENSION

CHAPTER 02 Mechanism

車体の動きを制御する緩衝装置

「縮む」「伸びる」という、一見、単純に思える作動。しかしサスペンションがなければ、正しく操縦することはおろか、まともに走らせることすらできない。

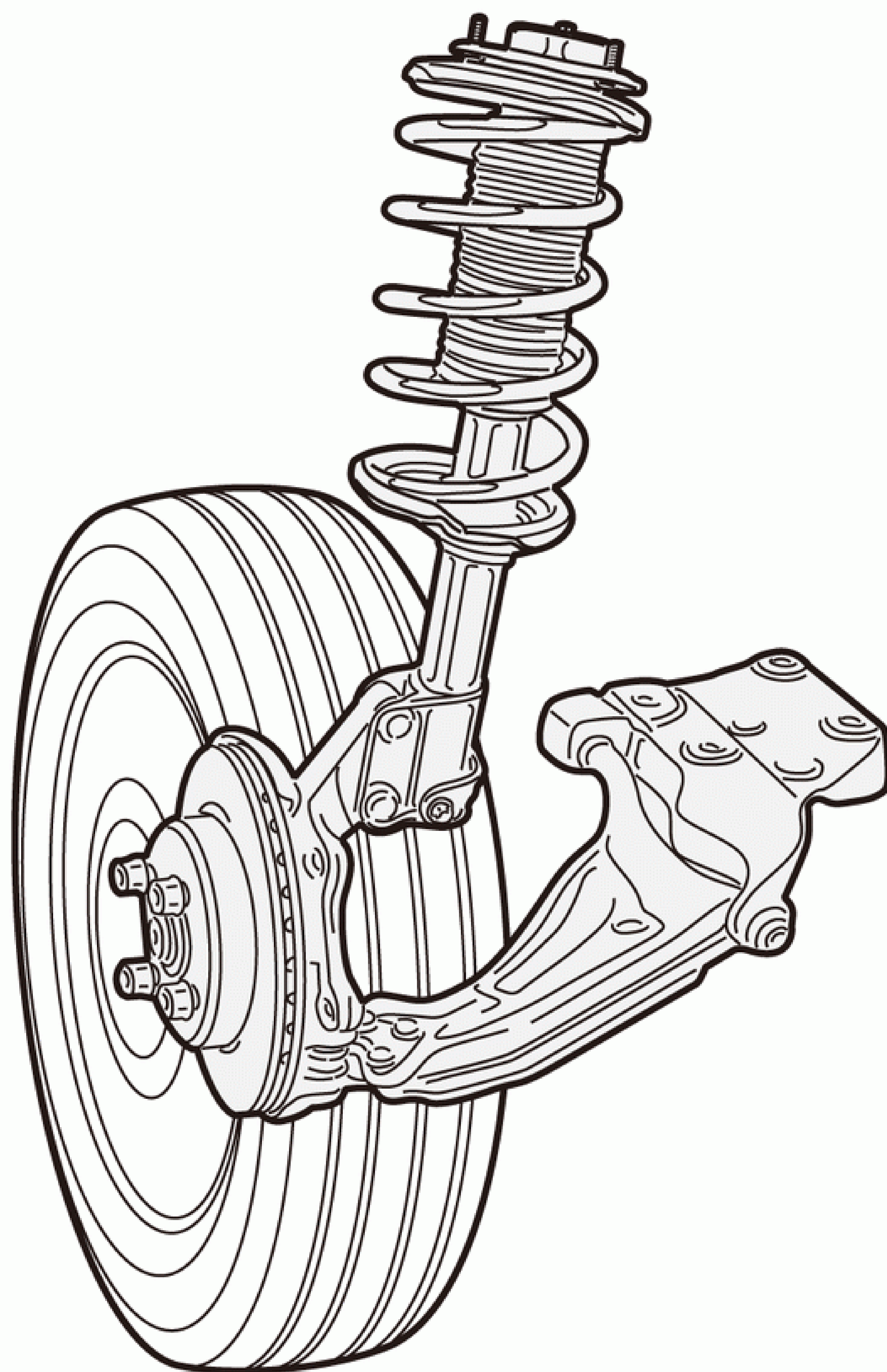
構造と原理

サスペンションは、ボディとタイヤの間にあって、車体を支えつつタイヤが受けたショックを吸収するメカニズムだ。操縦安定性にも大きな影響を与える、重要な走行メカニズムでもある。

サスペンションは大きく分類すると、左右輪の片方の動きがもう一方にも影響を及ぼす固定式と、左右輪が別個に動く独立式がある。それぞれ代表的な形式としては、固定式では車軸式、リンク式、トーションビーム式などがあり、独立式ではストラット式、ダブルウィッシュボーン式などがある。

サスペンション自体は、スプリング、ダンパー、リンク（アーム）類で構成されている。スプリングは路面からの衝撃を緩和し、ダンパーはスプリングの振動を抑制して乗り心地や安定性の向上に寄与している。リンク類はタイヤの動きを規制して最適にタイヤが接地するよう配置されている。サスペンションは、スプリングがその反力としてタイヤを路面に押し付け、かつその位置を決めるという重大な役割も担っている。

イラストはストラット式サスペンションで、国産乗用車では初代カローラに採用されて以降、数多くの車種に採用された代表的な型式だ。ストラット式はダブルウィッシュボーンのアッパーアームをストラットケースが兼ねるタイプで、部品点数が少なく、エンジンルームを大きく取れるなどのメリットがある。

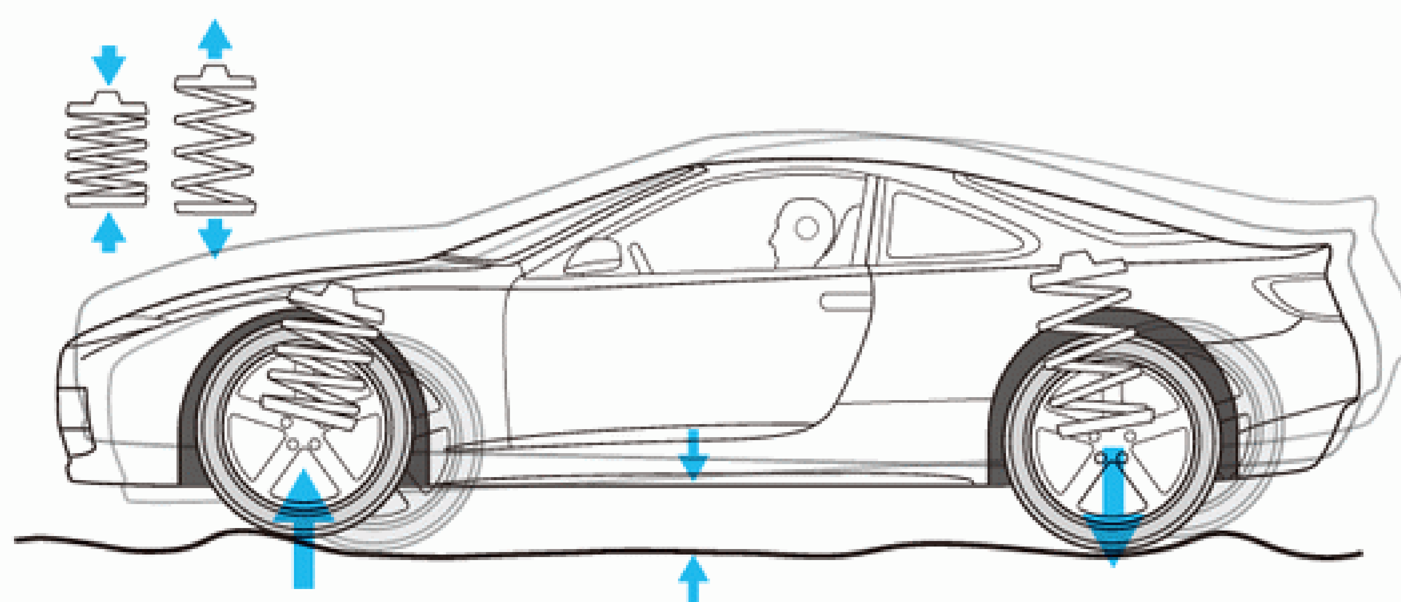


【ストラット式サスペンションの例】

走る・曲がる・止まるを司る。

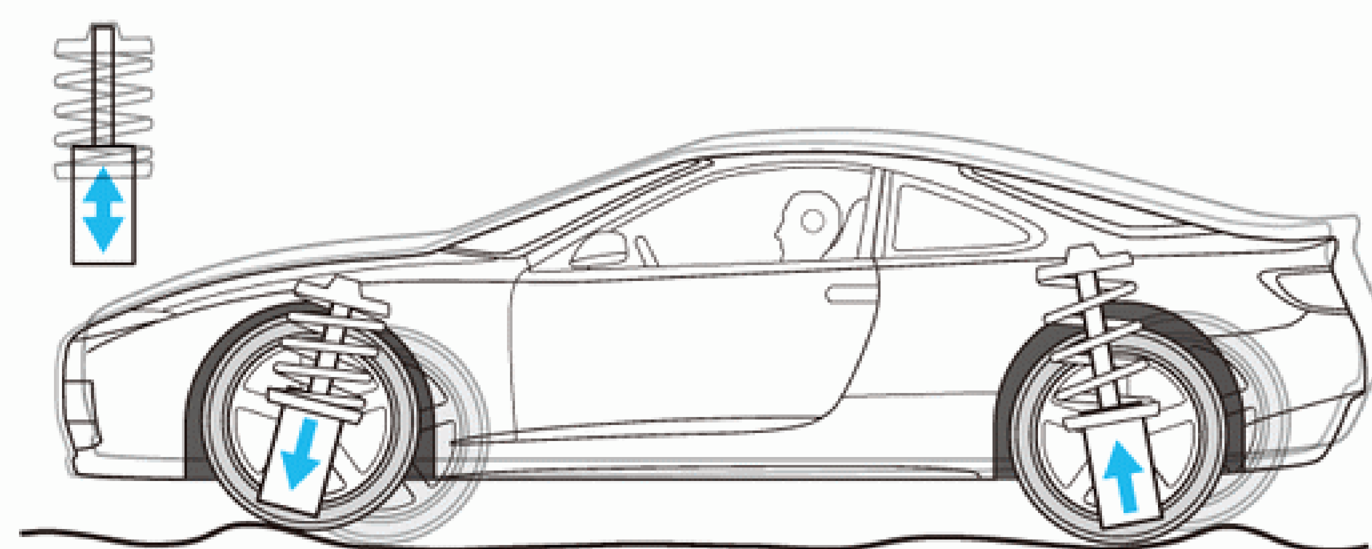
スプリング
▶ Spring

走行中に車体に加わる衝撃を最初に受け止め、ショックを和らげる機能とともに、一定の車高を保つ役割も担っている。操縦性のほか、ハンドリング性能、挙動安定性などに大きな影響を与える重要なファクター。スプリングの設定だけでもクルマの性格が一変するといっても過言ではない。金属製のコイルスプリングが一般的で、空気の圧力を利用した"エアサス"もある。



ダンパー
▶ Damper

コイル状のスプリングは荷重を受けた際、伸縮することで緩衝するが、そのままの状態では上下動が収まらない。その動きを収めるのがダンパー(ショックアブソーバーともいう)の役割だ。筒に封入したオイルやガスの中をピストンが上下する際の抵抗力を利用するタイプが一般的だが、「ゆっくり縮んで、ゆっくり戻る」動きで、スプリングの激しい上下動を収束させる。スプリング同様、操縦性や安定性を左右する。



サスペンションアーム
▶ Suspension arm

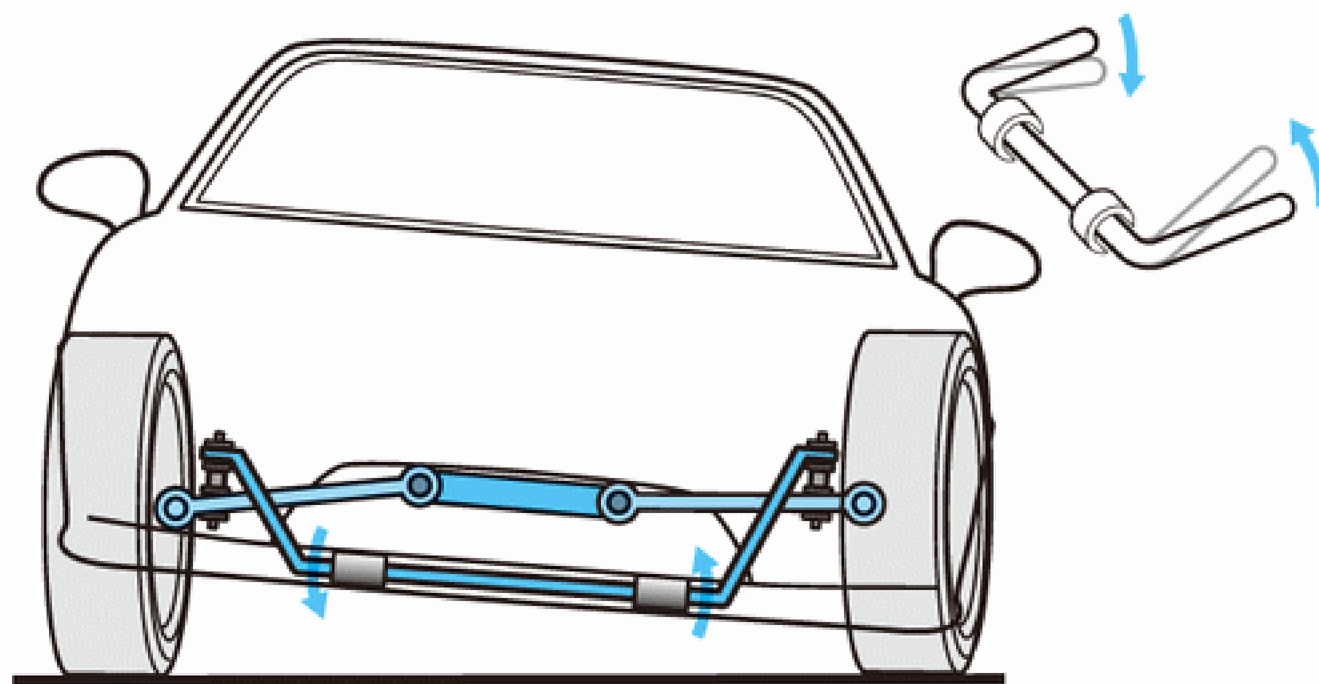
ホイールの動きをコントロールするパーツで「コントロールアーム」とも呼ばれる。ブッシュを介してボディやアクスルに取り付けられる。AアームやIアームなど、形状はさまざまで、基本的にプレス鋼板だが、強度を高めた鍛造品やスポーツモデルでは軽量化のためにアルミ製の鍛造品を用いることもある。ダブルウィッシュボーンのように上下で一対になったアームの場合、上側をアッパーアーム、下側をロアアームと呼ぶ。

サスペンションブッシュ
▶ Suspension bush

サスペンションを構成する金属製のリンクやアームなどの結合部、あるいはボディの取り付け部に用いられる緩衝材。柔らかすぎるとコーナリングなどの大きな荷重によって変形し、サスペンションに不要な動きが生じて操縦性や安定性が損なわれてしまう。そのため素材には衝撃吸収性に優れたゴムを使うが、競技車両ではサスペンションを無駄なく動かすため、ピロボールという金属の球面軸受を用いることも多い。スプリングやダンパーの性能を引き出す上でも重要なパーツ。

スタビライザー
▶ Stabilizer

トーションバースプリングのねじれを利用した車体のロールを抑えるための安定化装置。「アンチロールバー」とも呼ぶ。両端をサスペンションのロアアームに取り付け、左右の車輪が異なる動きをした時だけに作動する。例えばコーナリングではアウト側の車輪が沈み込み、イン側の車輪が伸び上がる格好になるが、この時に左右の車輪の動きが等しくなるように制御して姿勢を安定させる。スタビライザーのこの効果を利用して、アンダーステア／オーバーステア対策のセッティングに用いることもできる。



サスペンションの種類

車高を保ち、走行中の負荷や衝撃を受け止めるといった機能は同じでも、タイプによってサスペンションの性能や特性はさまざまだ。その性能、特性により、コーナリングを始めとした走行性能、「安全性」にも繋がるコントロール性能、さらには乗り心地などの快適性能の優劣が決まってくる。

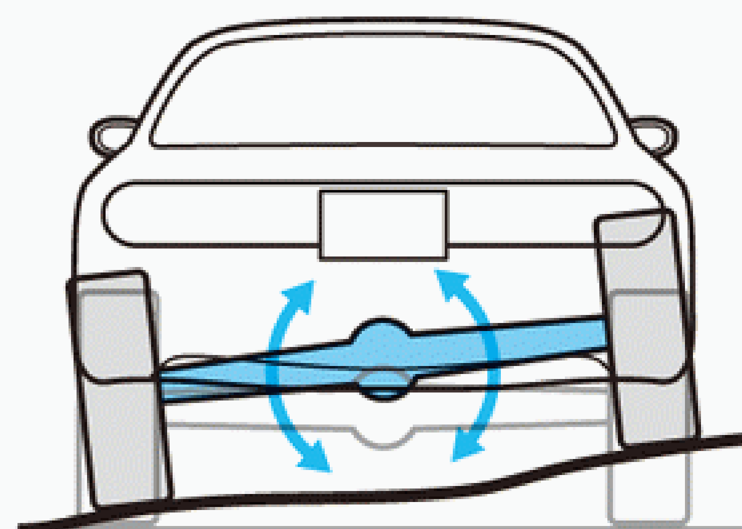
サスペンションは日進月歩の進化を遂げ、これまでにもいろいろなタイプが生まれてきた。複雑な機構を持ったものが必ずしも高性能とは限らないが、「路面の凹凸・アンジュレーションに瞬時に追従し、タイヤを常に正しく接地させる」というサスペンションの理想をかなえるために、いまもなおあらゆる工夫や手法が検討されている。



固定式

▶Rigid axle

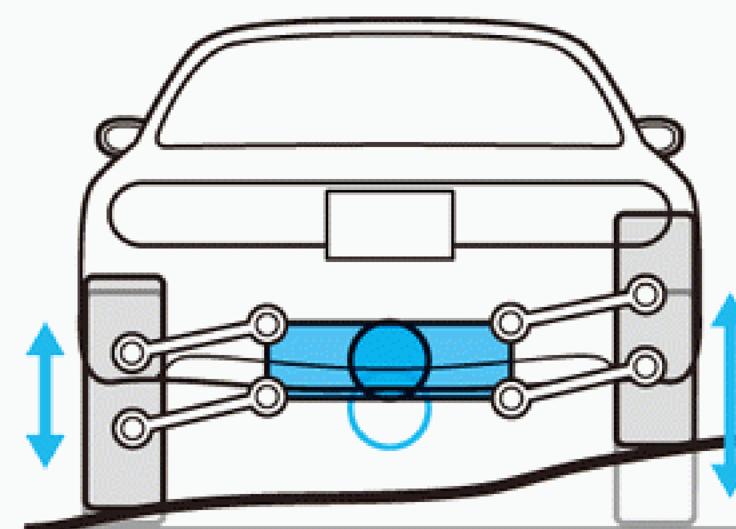
「リジッドアクスル」は左右のタイヤ＆ホイールが車軸（アクスル）でつながった構造。片輪の動きが反対側の車輪に伝わるため接地性が損なわれやすい。またアクスルビームやアクスルハウジング自体が重く、バネ下重量の面でも不利。ただし低コストで強度に優れることから、安価な後輪駆動車のリアサスに採用されることが多い。



独立懸架式

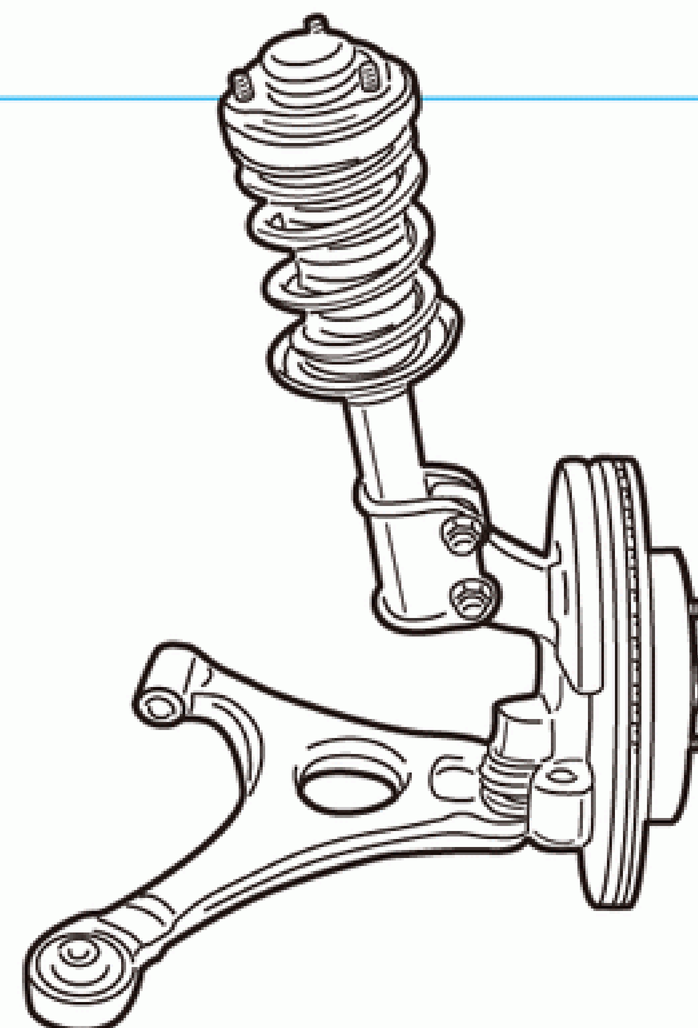
▶Independent system

左右の車輪を独立して上下に動かすことが可能で、凹凸やアンジュレーションなど路面に対する追従性に優れる。とくに後輪駆動車の場合、左右の車輪に効率よくパワーを伝えることができるメリットは大きい。さらに作動部の重量を軽くできる点も利点といえ、操縦安定性と乗り心地の両立ポイントは高い。



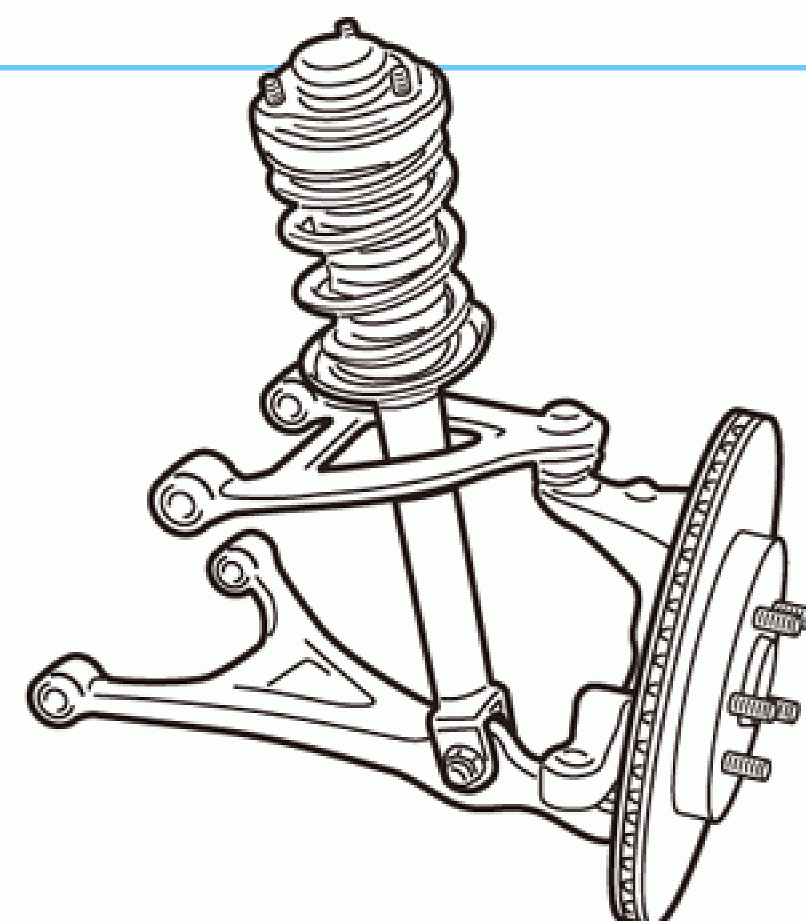
スポーツモデルが多用する独立式サスペンション

ストラット
▶MacPherson strut



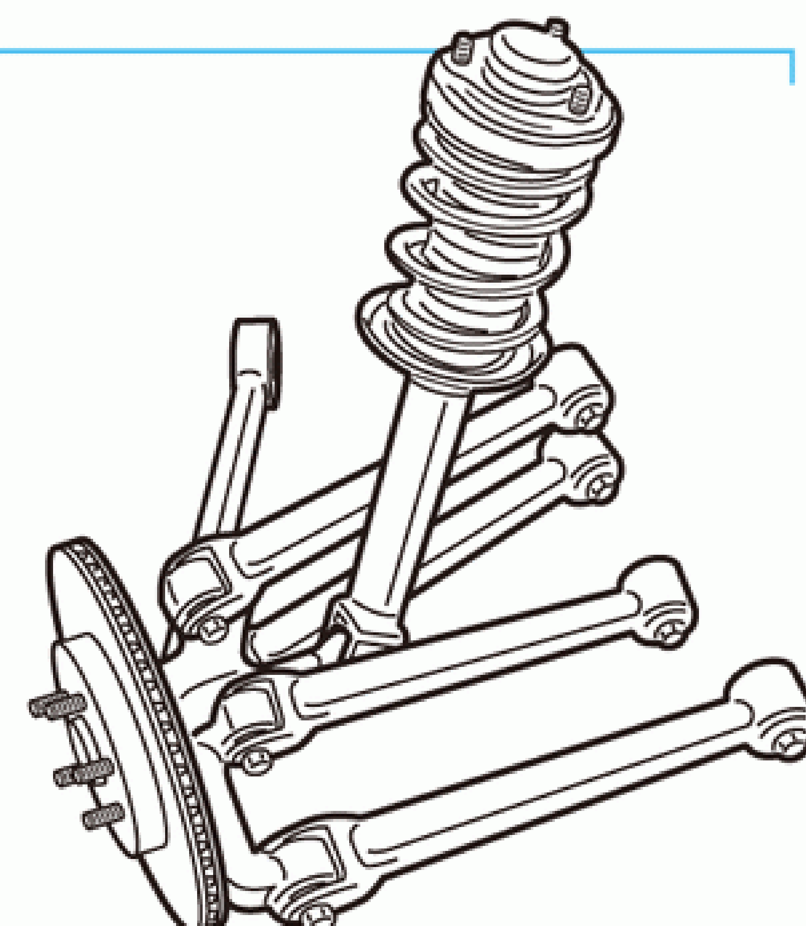
基本的にスプリングとダンパー、そしてロアアームで構成されたシンプルな構造。ストラットは力を受け持つ支柱を意味し、ダンパーを指している。上端は「マウントラバー」と呼ぶパーツを介してボディで支え、ダンパーの下部はロアアームで支える。部品点数が少なく、重さも抑えられるほか、ストローク長を確保しやすいため路面からの振動を大きな範囲で吸収できる点がメリット。開発者の名前にちなんで「マクファーソンストラット」と呼ばれることも多い。

ダブルウィッシュボーン
▶Double wishbone



上下が一対になったアームで車輪を懸架する構造。アームが2本（ダブル）で、当初のV字形をしたアームが、鳥の鎖骨（ウィッシュボーン）の形状に似ていたことが名前の由来。アーム形状やレイアウト次第で、加減速時の車両の姿勢や、アライメント変化を比較的自由に制御することが可能。また、高剛性を確保しやすいことから、操縦性やスタビリティを重視するスポーツモデルに採用されることが多い。ただし、部品点数が多く、構造も複雑。広い取り付けスペースが必要になる。

マルチリンク
▶Multi link



ダブルウィッシュボーンの進化型ともいえ、ダブルウィッシュボーンが上下2本のアームで構成するのに対して、3～5本のリンクでアクスルの位置決めがなされている。それぞれのアームが離れているため配置の自由度は大きく、より細やかなセッティングが可能。また、数本のアームで支持することでジオメトリー変化を厳密に管理することが可能で、タイヤの接地性にも優れる。高性能なFF車では高速域の挙動安定性確保のために、また高出力な後輪駆動車ではトラクションの確保を目的に、リアサスペンションに採用するケースが多い。

形式で異なる特性。



ホイールアライメント

身の回りの家具や椅子に移動用の車輪が付いていたら見てほしい。真上から眺めると、車輪の中心軸と家具との取り付け軸の位置がずれていることに気付くはずだ。家具や椅子を動かす時、車輪がふらふらせず一定方向に進むのはこの「ずれ」のおかげだ。

一方タイヤをはずして地面を転がしたとする。接地面を地面にぴったり付けて（真っ直ぐ立てて）転がせばタイヤは直進するが、接地面の一部しか使わずに（傾けて）転がすと、タイヤは一定方向にカーブすることがわかるだろう。

つまりタイヤをクルマに固定するときにさまざまな角度を与えてやれば、クルマの運動条件に適した形でタイヤを動かすことが可能になる。言わばこれがホイールアライメント（＝サスペンションジオメトリー）である。

「走る・曲がる・止まる」ことの基本は、4本のタイヤがアライメントどおり正しく取り付けられていることだ。この「タイヤの位置決め」によってタイヤの性能を引き出し、さらにはクルマの特性を決定付けることも可能になる。

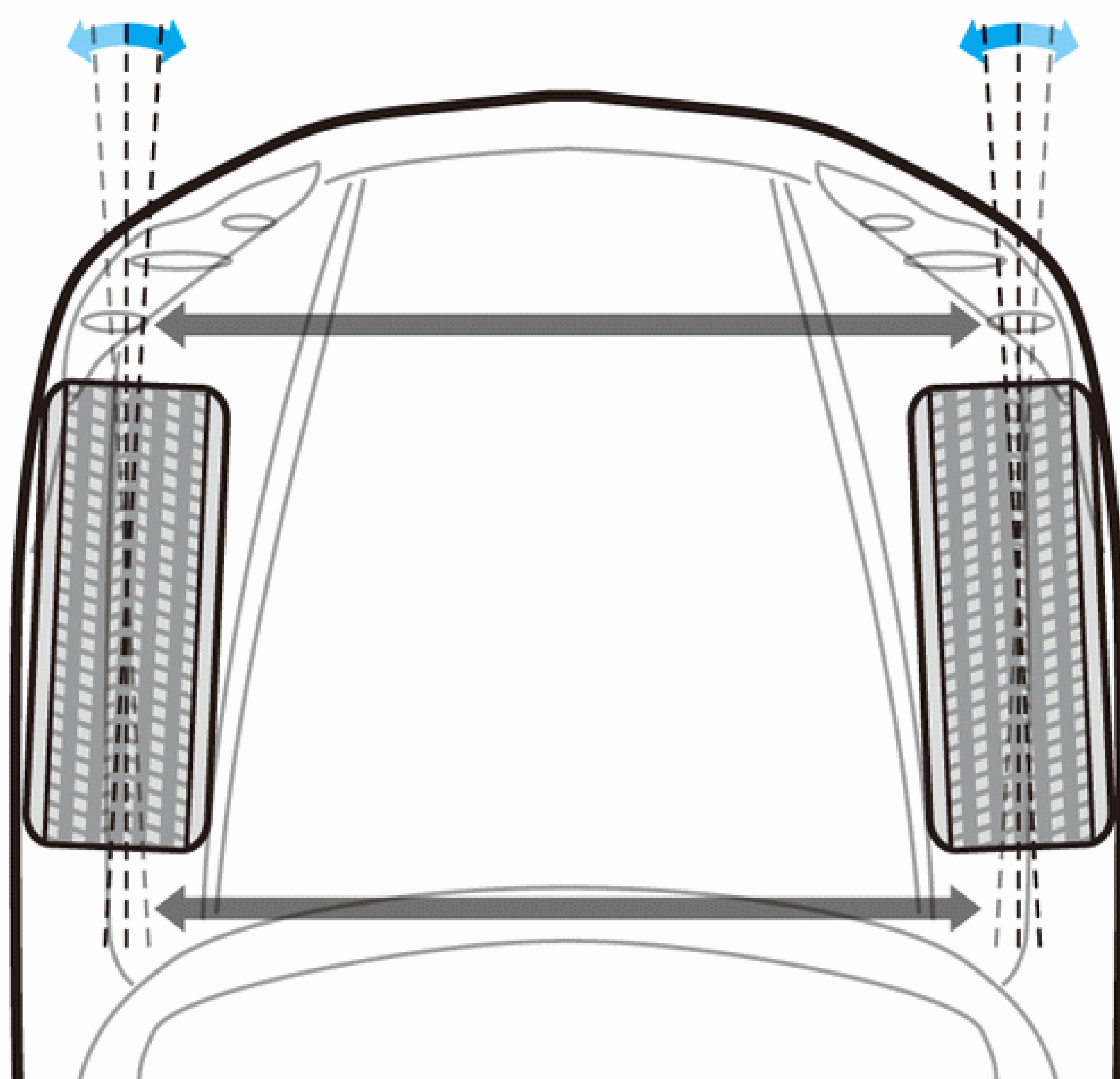
具体的なホイールアライメントの代表要素には、右ページで説明している4つがある。ボディを上から見たときのタイヤの角度であるトー角、ボディを横から見たときのサスペンションの傾き具合であるキャスター角、そしてボディを正面から見たときのタイヤの倒れこみ具合であるキャンバー角、同じくボディを正面から見たときのタイヤとサスペンションの取り付け角であるキングピン角だ。これらはそれぞれ0.1度、0.1mmといった精度で管理される。誤差が生じると直進性が損なわれたり、操作に違和感を感じるようになる。それぞれがクルマに及ぼす影響をしっかり覚えよう。

接地性、操安性を保つタイヤの角度。

トー角

▶ Toe angle

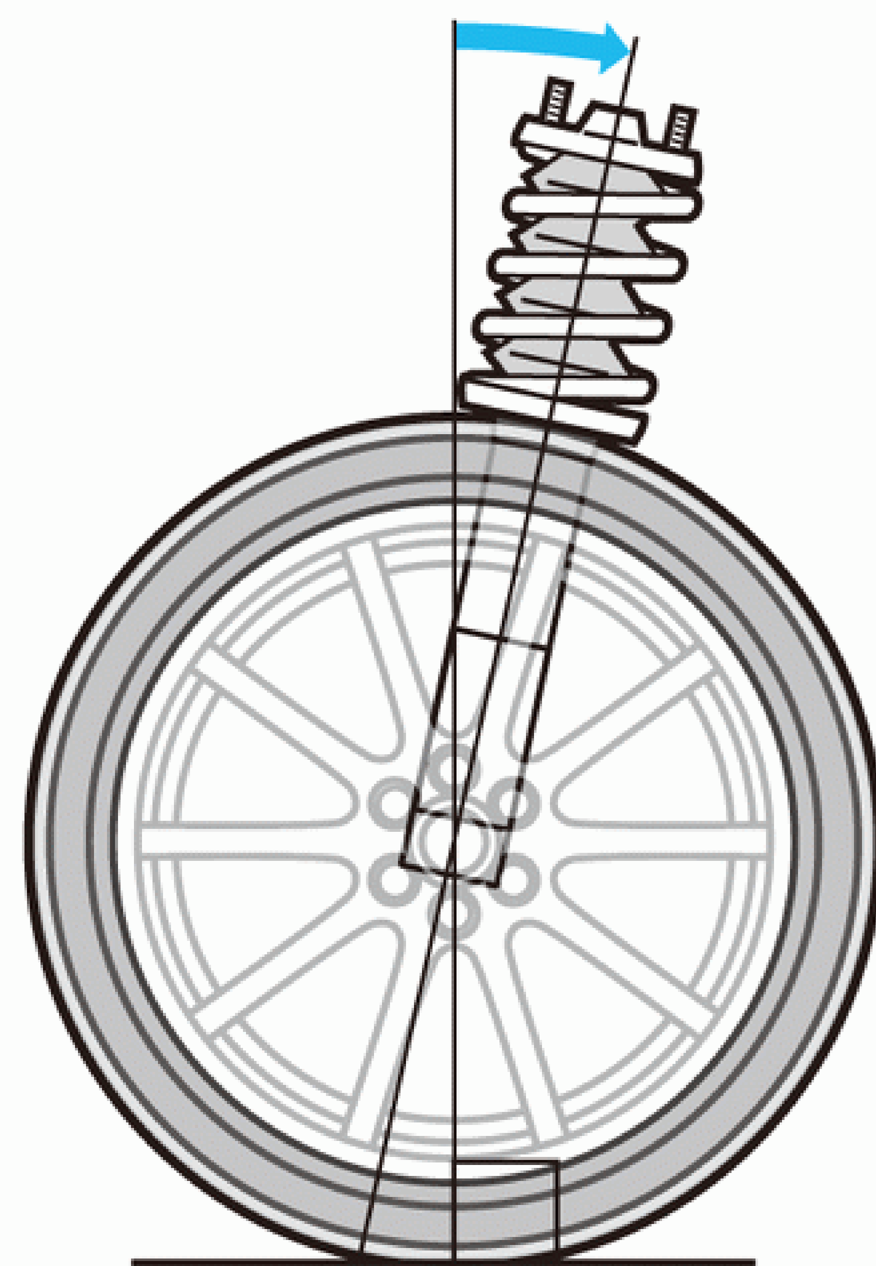
車体を上から見た場合の、左右輪の広がり角度のこと。進行方向に対して外側に広がっている状態は"トーアウト"、内側にすぼまっている状態が"トーイン"。直進性に大きく影響し、過度に設定するとタイヤに偏摩耗が生じる。



キャスター角

▶ Caster angle

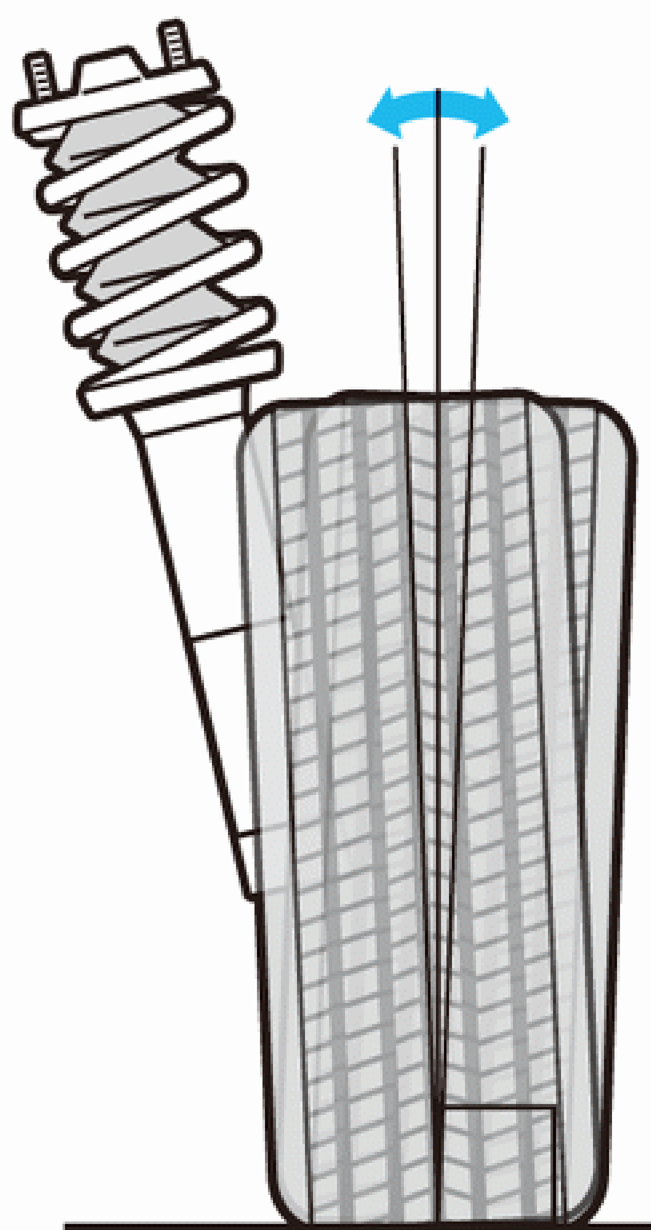
車輪を真横から見た際のフロントサスペンションの傾き角度。ホイールの横振れを抑える効果のほか、セルフアライニングトルク(ステリングを切った際にホイールを直進状態に戻そうとする力)にも作用。左右で異なると、角度の立っているほうにクルマが流されたり、制動時にステアリングを取られるなどの症状が出る。



キャンバー角

▶ Camber angle

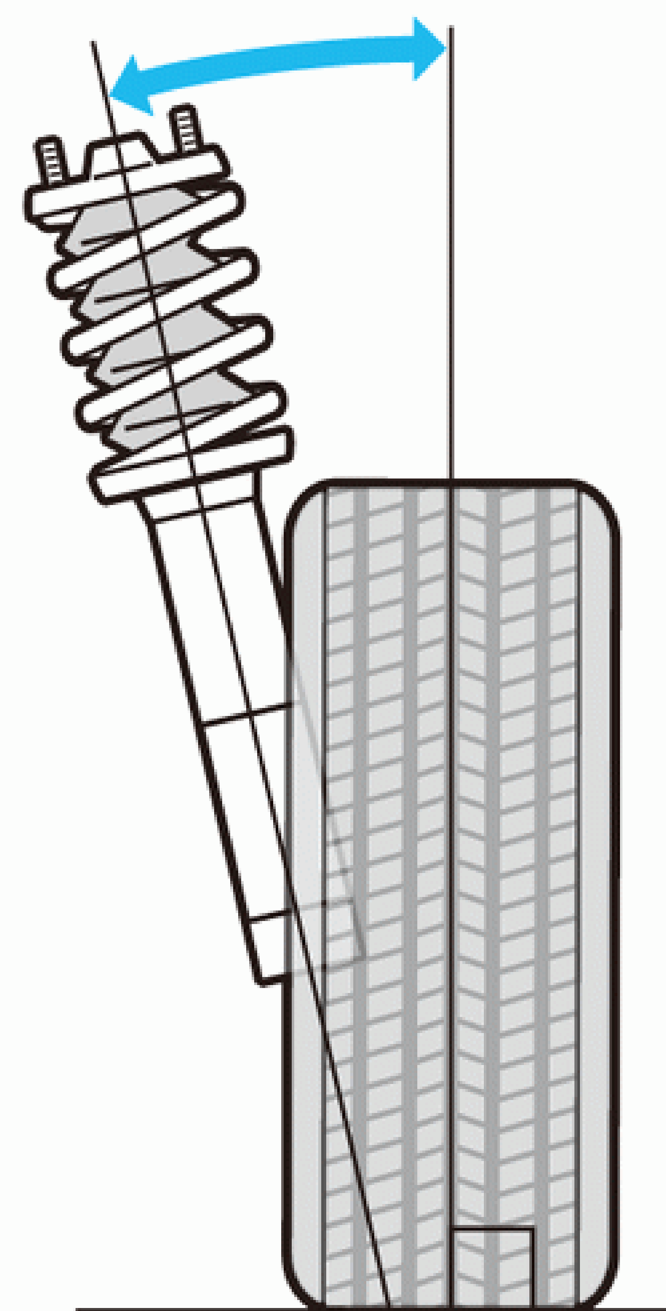
クルマを正面から見たとき、タイヤ下側が広がっている状態が"ネガティブキャンバー"、上側に向かって狭まっている状態が"ポジティブキャンバー"。ノーマルの状態では荷重が加わった際に下開き(ハの字)にならないように、あらかじめ上開きに設定されている。



キングピン角

▶ King pin angle

タイヤを正面から見た時のホイール取り付け軸の傾き角。基本的には路面からの入力によるハンドルの取られを抑えるための角度で、直進性やステアリングの復元力(セルフアライニングトルク)、また操舵力に影響を与える。



Tires

CHAPTER 02 Mechanism

クルマと路面の接点

**ドライブトレインを経て、サスペンションを介し、
最終的にエンジンパワーを路面に伝えるタイヤ。
いかなるクルマも、タイヤの性能を超えて走ることはできない。**

高性能タイヤの条件

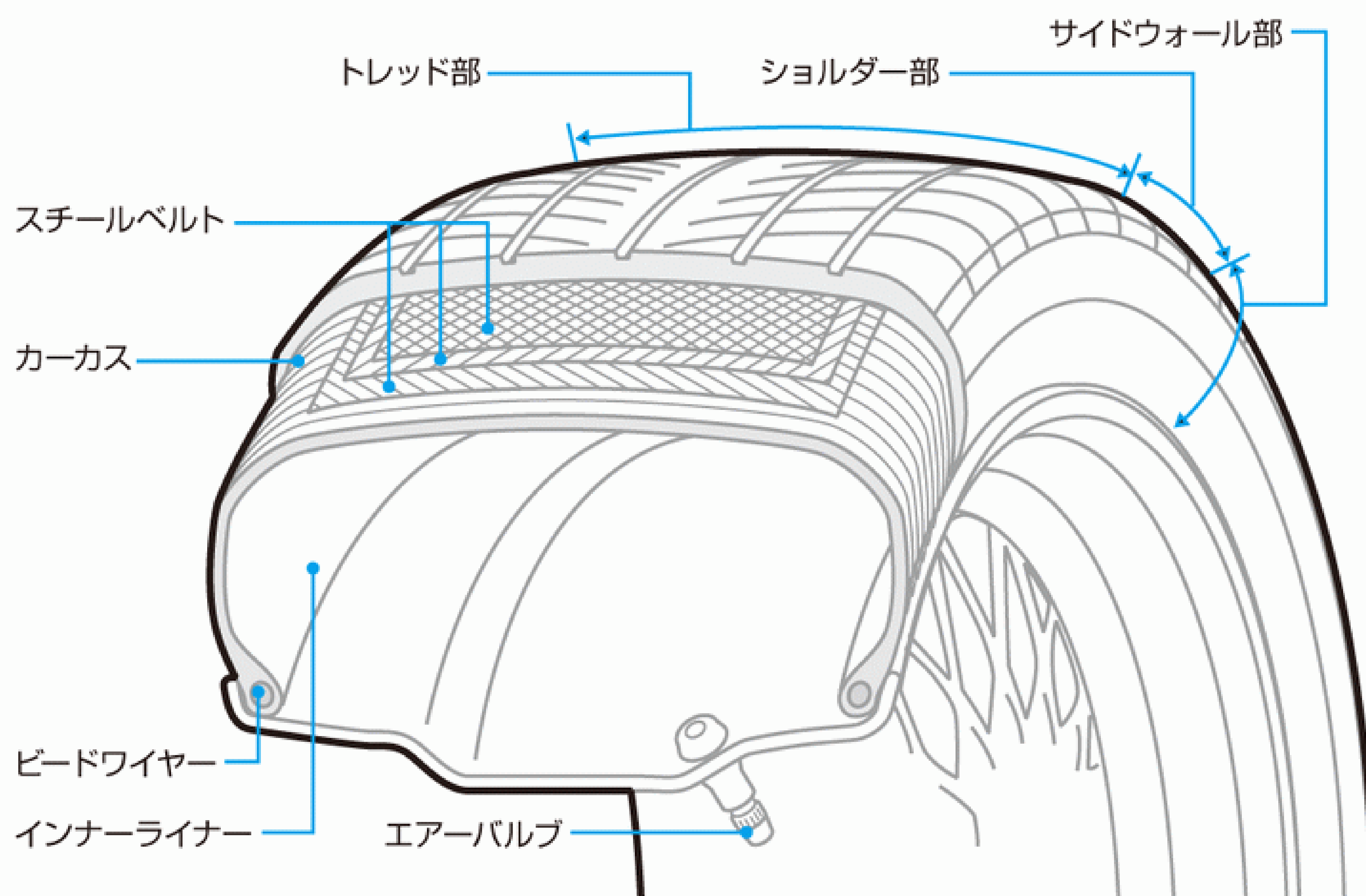
タイヤの機能は大きく4つに分けられる。車重を支える「荷重支持機能」、路面からの衝撃を和らげる「緩衝機能」、走って止まる「制動・駆動機能」、そして、安定して直線・コーナーを走るための「進路保持機能」。これら基本機能のバランスを取った上で、タイヤごとに異なる性能や特性に応じたチューニングが行われる。

走行性能を重視するスポーツタイヤでは制動・駆動機能と進路保持機能、すなわち「走る・曲がる・止まる」性能の向上が重要だ。具体的には、路面を捉える接地面のゴムのグリップ力を高め、タイヤが荷重を受けた際の変形を抑えるために剛性を上げる。例えばコーナリングではステアリング操作に対する反応が鋭くなり、大幅に旋回スピードを高めることが可能となる。

もちろんハイグリップタイヤにもデメリットはある。コーナリングなどで限界が高い反面、限界を超えた際の対処が難しく、相応のドライビングスキルが必要とされる。またサスペンションやボディに加わる負荷が増し、グリップとのバランスが崩れてコーナリング中のロール量が大きくなる傾向もある。つまりクルマ側にもそれを履きこなせるだけのキャパシティが求められるのだ。路面との摩擦力が大きいため摩耗が速く、乗り心地が悪化し、騒音が大きくなるなど快適性も損なわれるといった点にも注意したい。

なおウェット路でのグリップは接地面に刻まれた溝が性能を大きく左右する。タイヤと路面の間に存在する水分を効率よく排出するのが溝の目的だが、排水性能と接地面の剛性は相対関係にあり、とくにスポーツタイヤではバランスを取るのが難しいとされる。

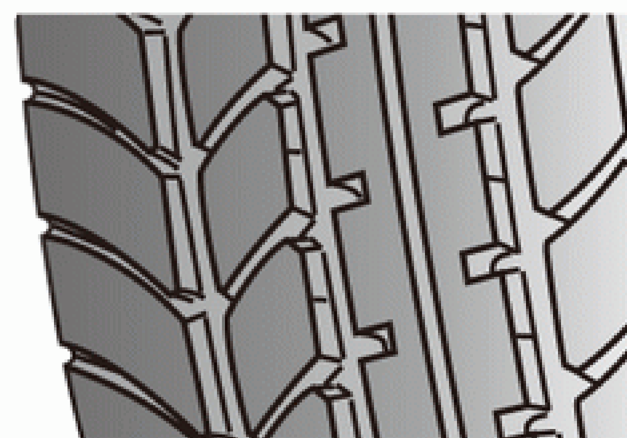
クルマはタイヤの性能以上には走れない。このため自らのドライビングに合致したタイヤを選ぶ知識を養っておこう。



速く走るための
グリップと剛性。

トレッドコンパウンド
▶ Tread compound

接地面に用いられるゴム。ハイパフォーマンスタイヤが使用する路面を強くグリップする柔らかいゴムは、路面との摩擦が大きいため摩耗が速く、一方、耐摩耗性を重視する一般車用ではグリップ性能を一定レベルにとどめた硬いコンパウンドを用いる。また、ゴムはある程度発熱させないと硬い状態で、本来のグリップを発揮させにくく、逆に過熱させてもグリップは低下する。



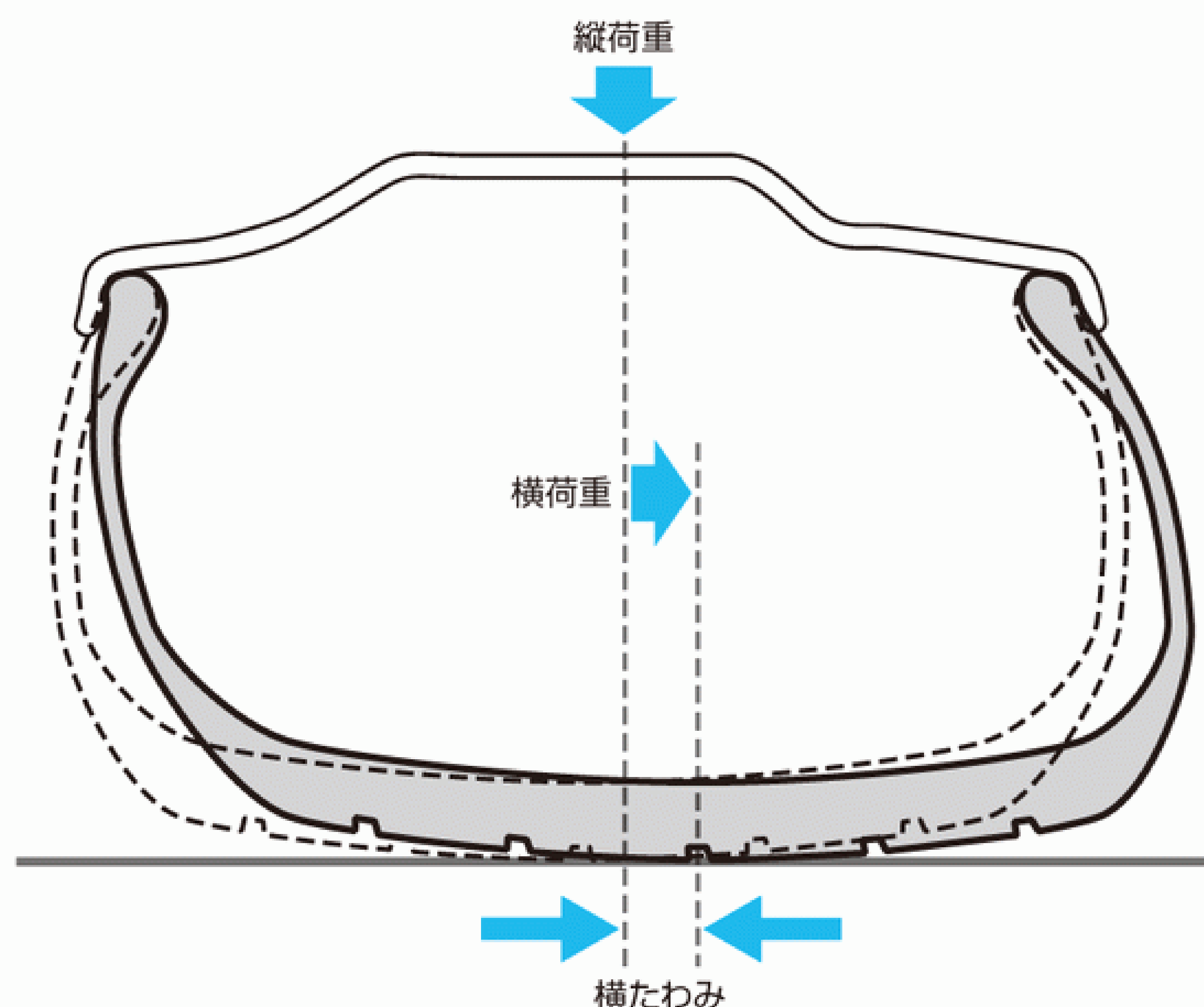
トレッドパターン
▶ Tread pattern

接地面に彫り込まれたミゾのことをいい、「グルーブ」とも呼ぶ。路面の水を（回転とともに）排出するのが主な目的。より排水効果を高める目的で、回転方向を指定した方向性パターンを採用しているタイヤも少なくない。一方、溝は接地面の剛性を低下させる要因となるため、ハイパフォーマンスタイヤでは細い切れ込みをなくし、太い溝だけでパターンを構成するのが一般的。また、コーナリング時に強く路面に押し付けられる外側は溝を減らすことでトレッド剛性を高め、内側は多くの溝を設けて排水性を高める、左右非対称パターンを採用しているものもある。



ケーシング剛性
▶ Casing rigid

トレッドを始め、サイドウォールや、各ビードで構成されているタイヤの断面はケース（容器）状になっていて、その剛性のことを“ケーシング剛性”という。トレッド部に加わる路面からの力は各部に伝わり、最終的にはビードベース部で受け止める。つまり、加速&減速、コーナリングでタイヤに大きな荷重が加わった際、無駄なヨレを発生させないためには、タイヤ全体の剛性＝ケーシング剛性を高めることが重要なのだ。ただし、高剛性化を進めるにしたがって、運動性能が向上する反面、乗り心地はスポイルされる傾向にある。タイヤのキャラクターや使用目的に応じたチューニングが施されるわけだ。



WHEELS

CHAPTER 02 Mechanism

アルミが主流のロードホイール

1kgの軽量化がバネ上の15倍の軽量化にも匹敵するバネ下重量。発進・加速、制動、コーナリングでいかんなく性能を発揮するには軽快なロードホイールが欠かせない。

バネ下重量

ドレスアップアイテムとしての意味合いが強いアルミホイールは、一方で走行性能に及ぼす影響も小さくない。

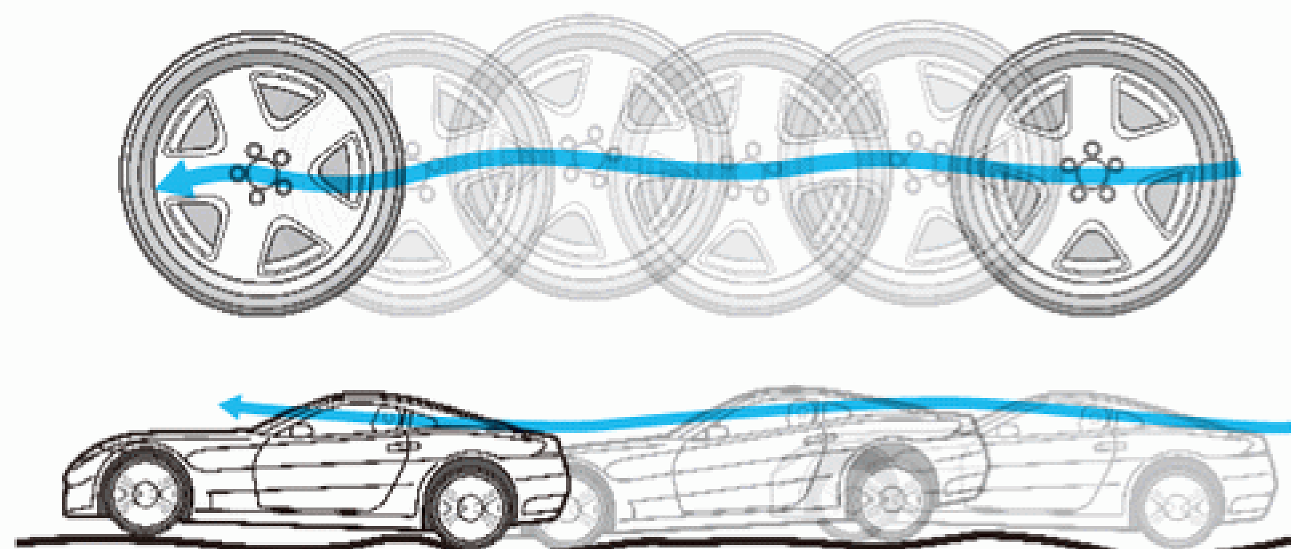
クルマがもっとも動力を必要とするのは発進時。車輪が静止した状態からひと転がりさせるためには、非常に大きなエネルギーが求められる。重いホイールほど回転させにくく、逆に軽いほど少ないエネルギー（エンジンパワー）で軽々と回る。

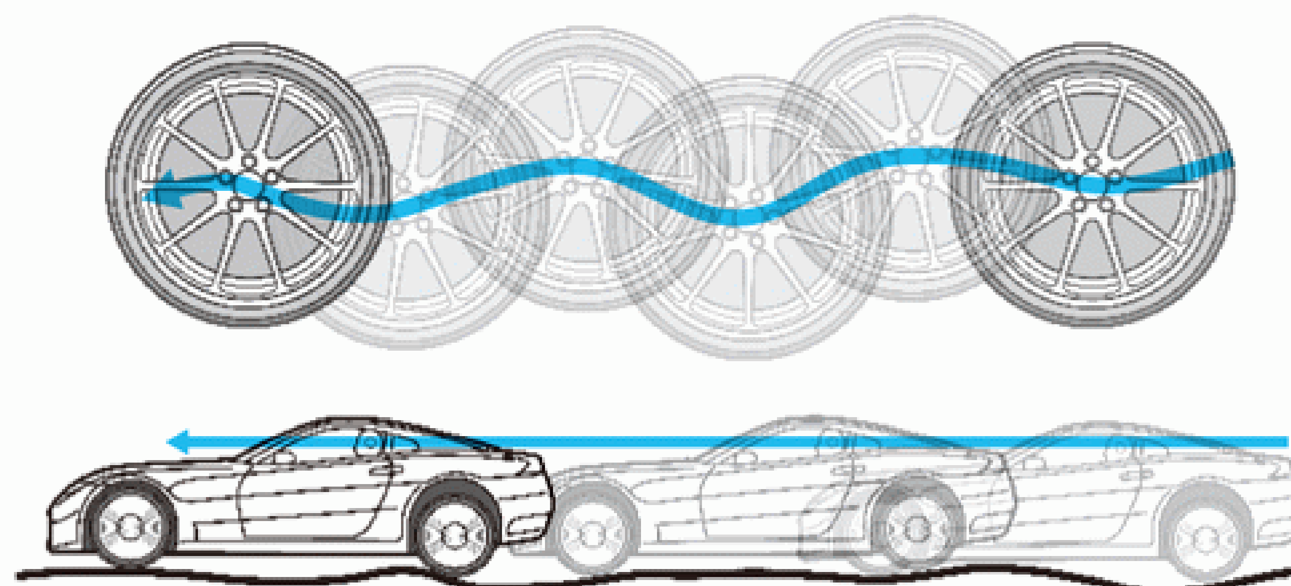
これは「バネ下重量」と呼ぶものでクルマの運動性に大きな影響を及ぼす。ホイールやタイヤが軽いと、発進・加速性能が向上するし、制動時にタイヤの回転を止めやすい（ブレーキがよく効く）。またサスペンションの動きがスムーズになって路面追従性や乗り心地が改善されるし、燃費も向上するといった点でもメリットがある。

スポーツカーの多くが、鉄よりも比重の軽いアルミホイールを純正採用していることがそのなによりの証拠だろう。その効果は「バネ下1kgの軽量化は、バネ上15kgの軽量化に相当する」ともいわれるほどだ。モータースポーツの世界ではアルミよりさらに軽いマグネシウム合金製のホイールも使われている。

主流のアルミホイールは、その熱伝導性のよさ・熱容量からブレーキ熱の排出を効率よく行えるメリットを持ち、鋳鉄製と比較して耐腐食性も高い。

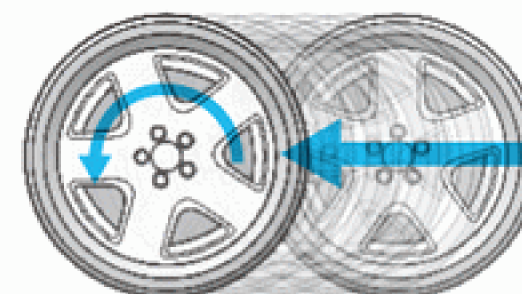
一方ホイールを交換するときは、サイズアップによって重量増加を招く場合があるので注意したい。特に大幅にサイズを拡大した場合は結果的にバネ下重量を増加させてしまうケースが大半だ。タイヤのロープロファイル化によるメリットと重量増のデメリットを勘案することが必要となる。



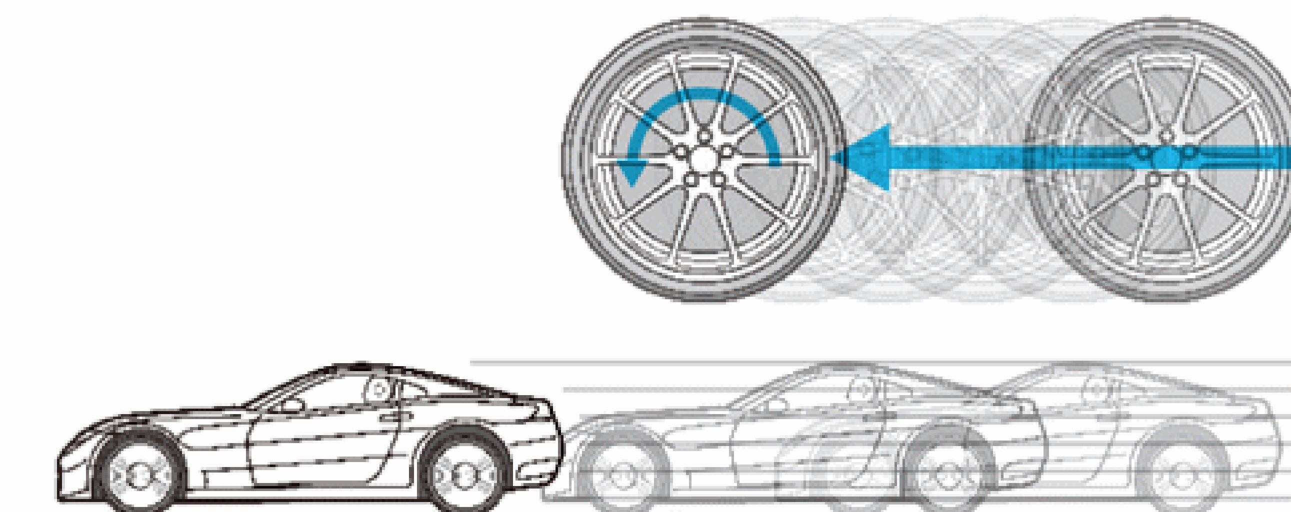


ホイールが軽くなるとタイヤの路面追従性が向上し、よりフラットな乗り心地が得られる。

ホイールの軽さはクルマが動き出す際のエンジンパワーも軽減させる。







構造

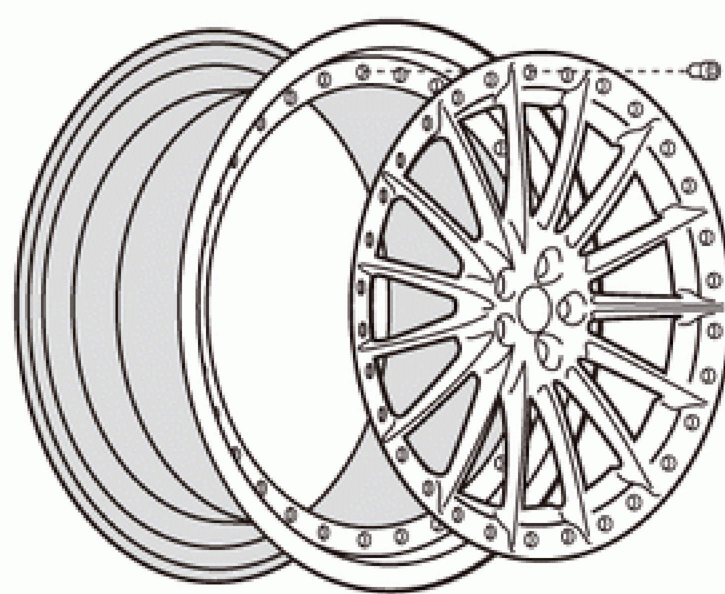
1ピース
▶ One piece

リム部とディスク部が一体になった、もっともベーシックな構造。鋳造（もしくは鍛造）後に切削加工で仕上げるため寸法精度が高い。比較的デザインの自由度が小さい反面、部品点数が少ないため2ピースや3ピースと比較して軽量で、重量バランスにも優れる。



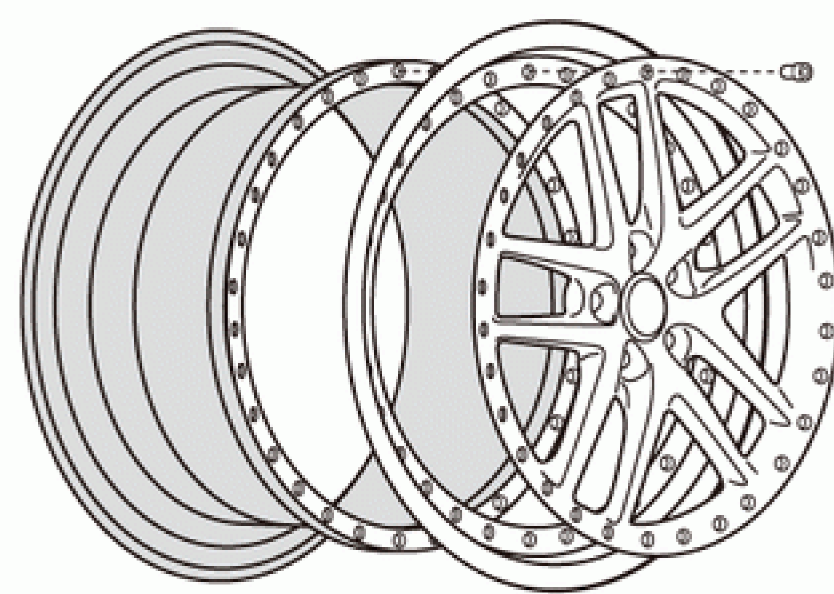
2ピース
▶ Two pieces

ディスク部とリム部を別々に作製し、ボルト&ナット、もしくは溶接して結合させた構造。ディスク部とリム部を異なる素材（アルミ、マグネシスム、チタン…）や製法（鍛造／鋳造）で作り分けることが可能。オフセット量や、ディスクデザインの自由度が大きい。



3ピース
▶ Three pieces

表側のリム部と裏側のリム部を溶接し、ディスク部をピアスボルトで組み付ける構造。2ピースの特徴・長所を持ち、（ピアスボルトの分）重量的に若干不利とされるが、デザインの自由度がもっとも高く、ファッション性を重視したホイールに多く採用されている。



製法

鋳造
▶ Casting

高温で溶かしたアルミニウムを鋳型に流し込んで成型する製造法。2ピース、3ピースではディスク部のデザインの自由度が高いのがメリット。反面十分な強度を持たせるために肉厚を厚くする必要があり、スチール製に対する重量面のアドバンテージは小さい。低コストのため純正品も含めて現在のアルミホイールの主流になっている。

鍛造
▶ Die casting

金属の塊を数千トンという高圧力で圧縮（金属の分子を整列させる）し、粘り強く、硬い材質にするのが鍛造。鋳造と比較して強度に優れるため、肉厚を薄くして軽量にできるメリットがある。ただし、その硬度ゆえ引っ張り強度には強いが曲げ強度に弱いという側面を持ち、一般的に生産コストが高くデザインにも制限を受けやすい。素材はアルミニウムに限らず、競技車や一部のスポーツカーではアルミよりも軽量なマグネシウム製の鍛造ホイールを装着するケースが目立つ。

軽量化がもたらす数多のメリット。

AERODYNAMICS

CHAPTER 02 Mechanism

車体に働く空気の力

**高速性能を一変させるほどの影響力を持つボディデザイン。
トップスピード、スタビリティ、そしてエコノミー性能。
いまやエアロダイナミクスを抜きにクルマは語れない。**

空気抵抗と揚力

高速走行において「空気抵抗」が及ぼす影響はきわめて大きい。速度が増すほどクルマの前進する力を奪う、目に見えない「空気の壁」だ。

空気抵抗による影響は80km／h程度から無視できなくなり、以降速度の2乗に比例して大きくなる。つまり速度が2倍で4倍に、3倍では9倍になる。実際にはタイヤの「転がり抵抗」などもあるが、エンジン出力で空気の壁を破れなくなった時が、そのクルマの最高速。最高速や高速性能を重視するレーシングカーやスポーツカーはもちろん、燃費を重視する実用車でも、空気抵抗の低減は重要になっている。

車高は高いよりも低いほうが抵抗が少なく、形状自体も走行風をスムーズに後方に受け流す流線型やウェッジシェイプ（くさび型）が有利。さらにボディの表面に余計な凸部がない＝フラッシュサーフェスは、空気抵抗を低減させるデザイン処理といえる。

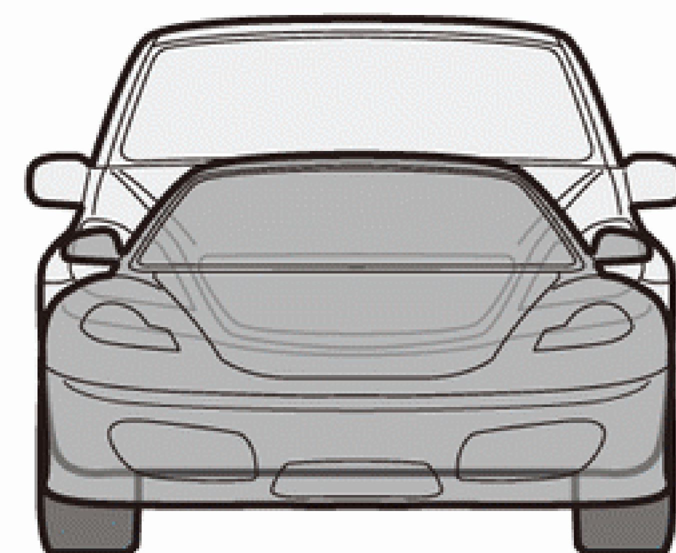
一方留意点もある。空気抵抗の小さいボディは、横から見ると飛行機の主翼のような形状になっていることが多い。このようなボディは上部を流れる空気が下部よりも速くなり、ボディを上方に浮かせようとする力＝揚力が発生してしまうという問題が生じる。しかし揚力を抑えるためには空気抵抗を増す必要があるため、空気抵抗と揚力のバランスポイントをどこに置くかが、デザイン開発の重要な鍵となるのだ。

さらに、高速走行では直進性を乱す横風も無視できない要因となる。エアロダイナミクスは空気抵抗、揚力、そしてヨーイングモーメントまで含めたトータルバランスで考える必要がある。



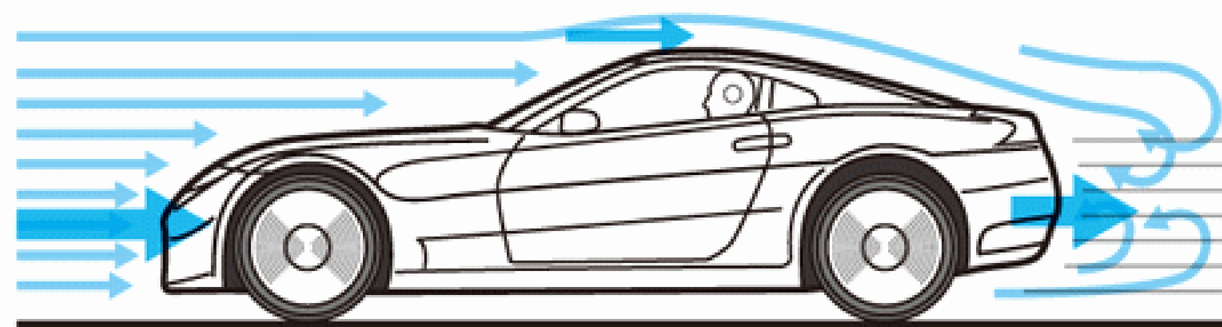
前面投影面積
▶ Frontal area

クルマを正面から見た際の車体のシルエット。この面積が広いほど走行風を多く受け、抵抗が大きくなる。スポーツカーが低く構えたボディを採用するのは、前面投影面積を極力小さくするためでもある。1BOXやミニバンは必然的に不利となる。



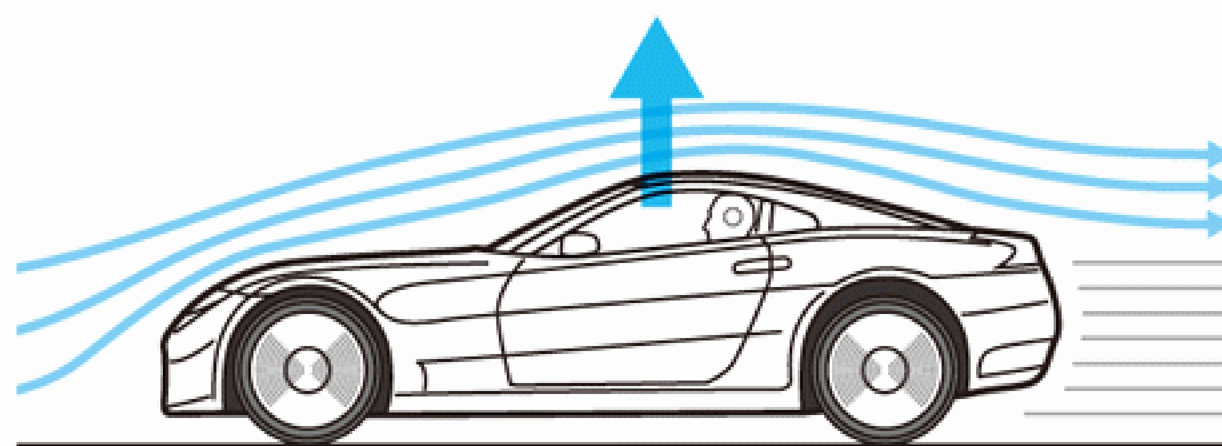
Cd値ー空気抵抗係数
▶ Constant drag

ある物体に風を当てて、どの程度スムーズに空気が流れるかを示す係数。あくまで係数であるため速度には影響されない。実走行で問題になる“空気抵抗”は、この空気抵抗係数（Cd）に前面投影面積を掛けたもの。従って、仮にCd値自体が大きくても前面投影面積の小さいスポーツカーは空気抵抗が小さく、セダンなどでは逆のことがいえる。



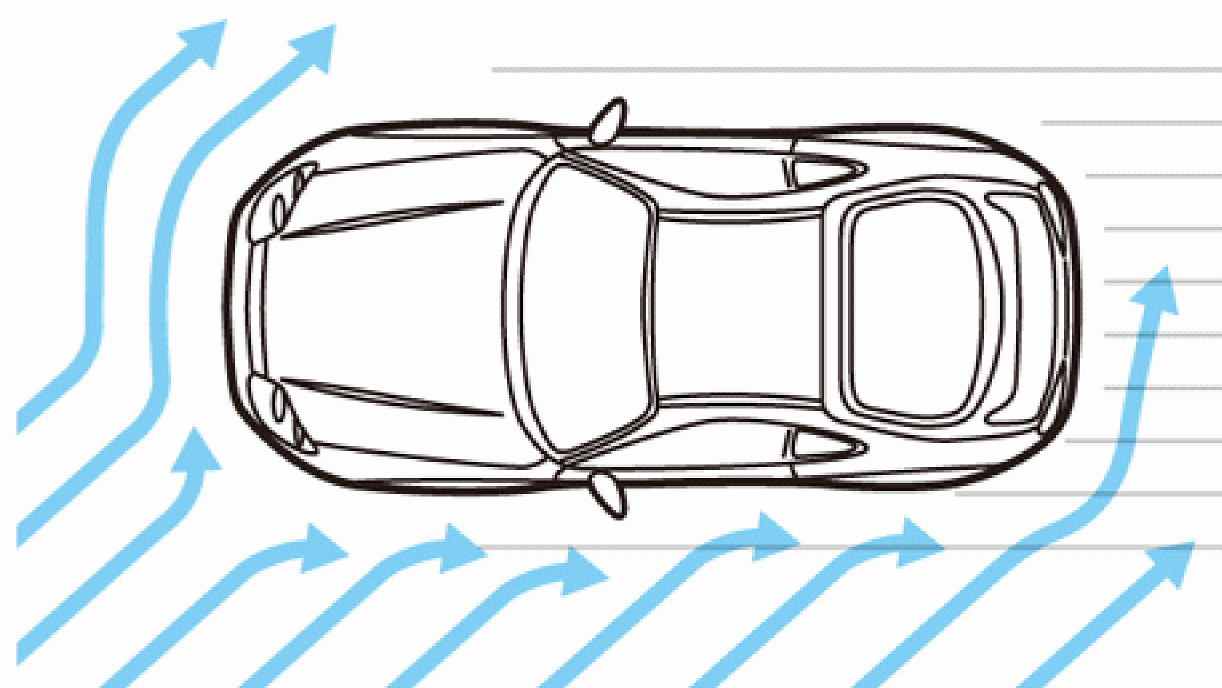
CL値ー揚力係数
▶ Constant lift

高速走行の走行風によって生じる車体を浮き上がらせようとする力の係数。反対に車体を下方向に押し付ける力を“ダウンフォース”あるいは“マイナスリフト”と呼ぶ。ダウンフォースを得るには空気抵抗を増加させることが求められ、また、挙動の安定化を図るには前後のダウンフォースを最適にバランスさせる必要がある。



CYM値ーヨーイングモーメント係数
▶ Constant yawing moment

走行中に受ける風は前からとは限らない。さまざまな方向から風を受けた時に、車体の中心軸周辺に発生し、回転させようと作用する力＝直進性を妨げる力をヨーイングモーメントという。CYM値が小さいクルマは横風にも強いといえ、一般的に、重心高が高いトールボディは不利とされている。



高速性能を阻害する要因。

Review: Tuning & Settings

3

The Gran Turismo Magazine
Beyond the Apex

エンジンの戦闘力アップ

無闇にパワーアップしたエンジンは扱いにくいばかりで決して速く走れない。まず何を求め、どうすれば理想に近づけるかをしっかり見定め、用途やコースに応じたベストチューニングを目指したい。

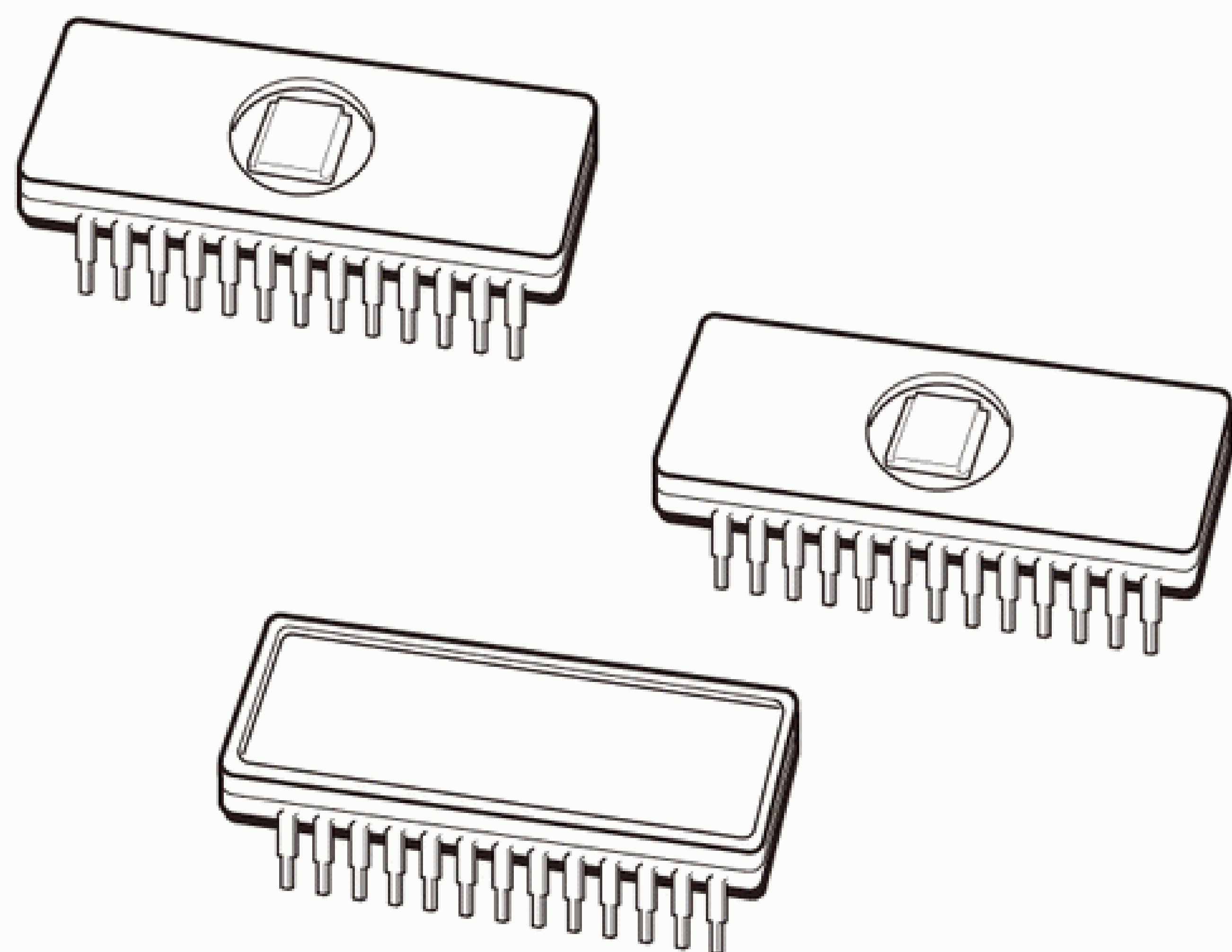
ファインチューニング

エンジンコンピュータの交換や吸排気系の効率アップは、エンジンの基礎的な体力向上を行うためのものだ。その後に続く、エンジン本体のメカニカルチューンやターボ装着といった本格的なチューニングメニューのベースにもなる。大幅なパワーアップは望めないが、その効果はストレスを感じさせないシャープな吹け上がりや、レスポンスアップなどに表れる。また、エンジンに加わる負荷は比較的少なく、逆に高負荷時のエンジンを保護する機能を持ち、耐久面でのメリットも大きい。



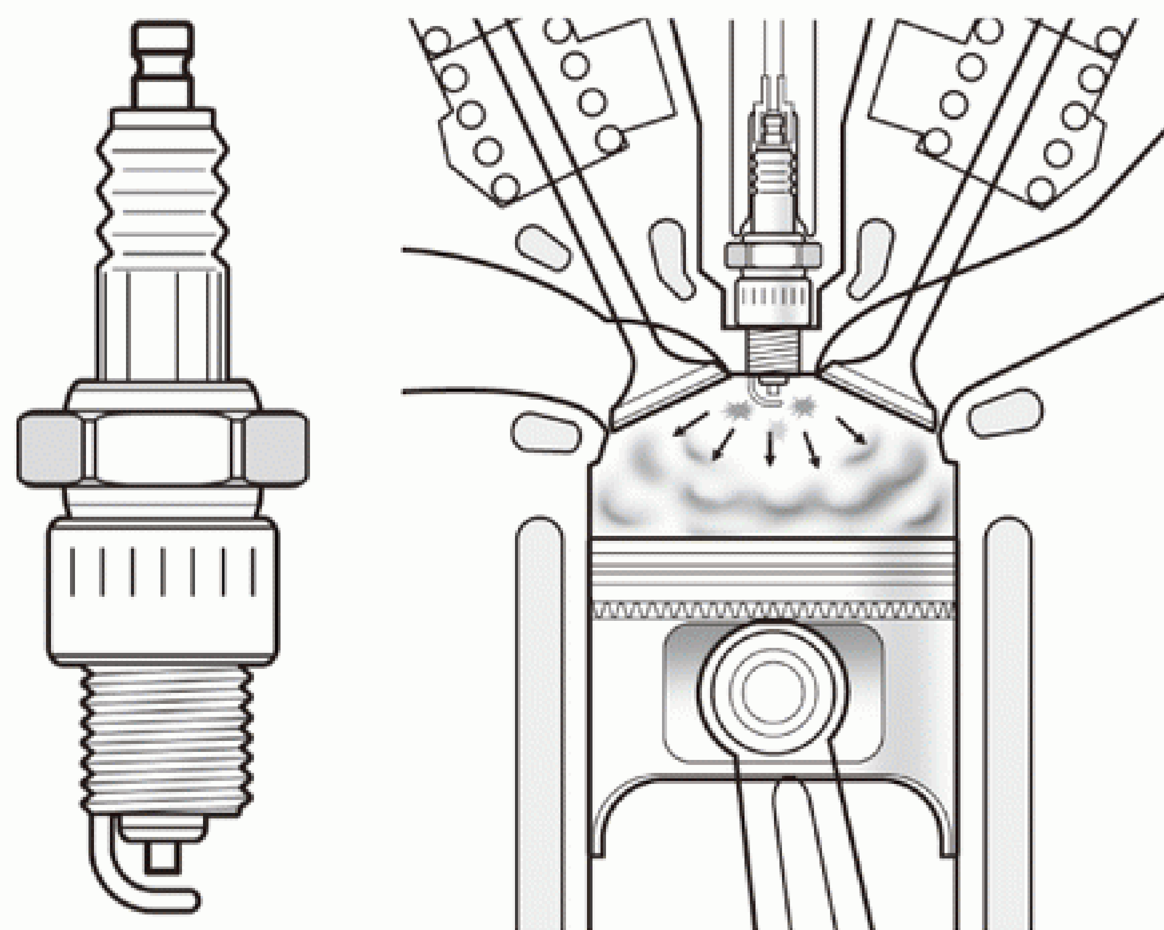
Computer
コンピュータ

エンジンを制御する情報が記憶されているROM（ロム）のデータを書き換えるのが一般的で、"ROMチューン"とも呼ばれる。点火時期のほか、空燃比、燃料の噴射量やタイミングの変更などが可能だ。ターボ過給圧アップや、吸排気系パーツの交換、エンジン本体に手を加えた際にはこのROMチューニングが必要になる。



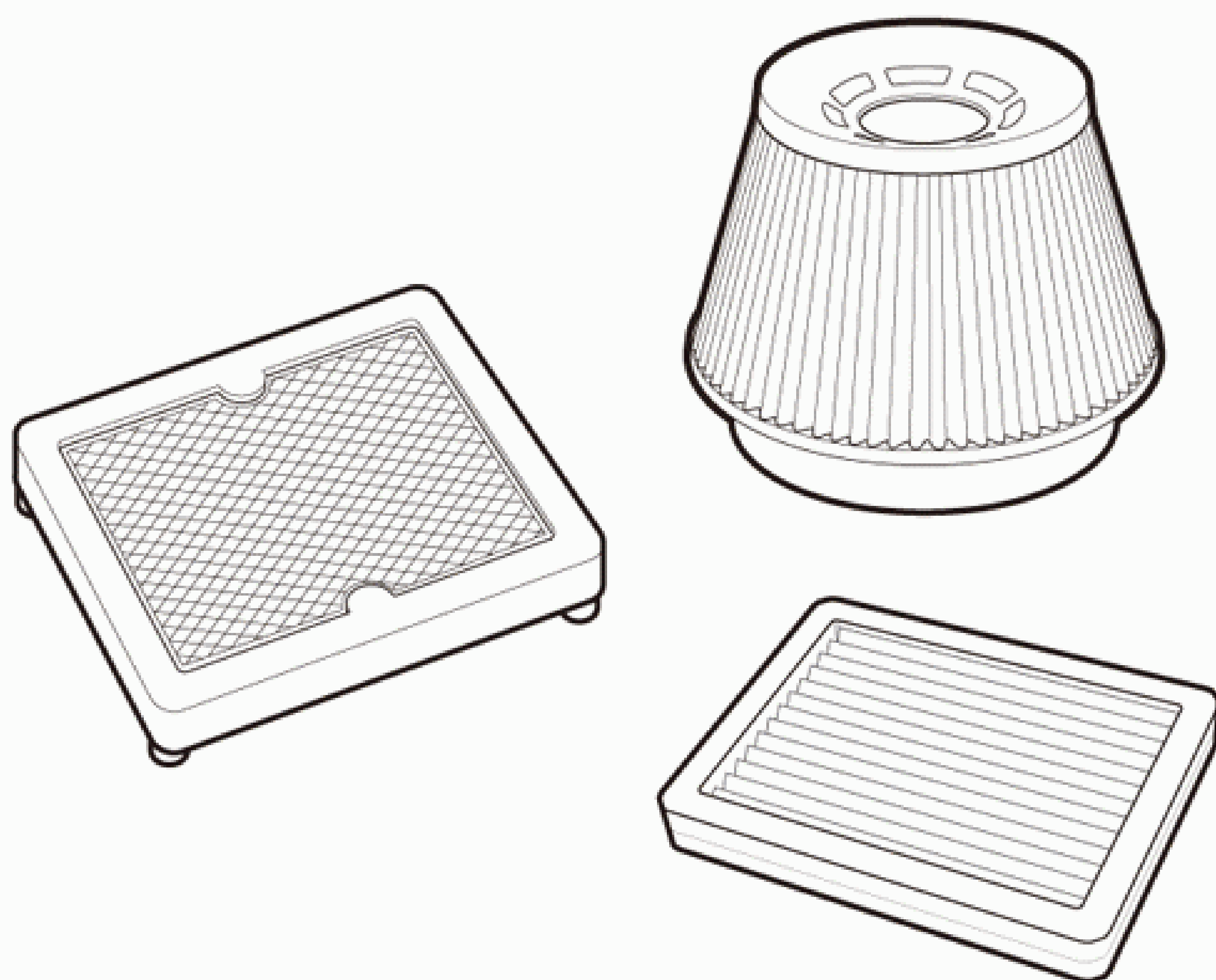
Spark plug
スパークプラグ

燃焼室内の混合気に点火して正常に爆発させるためには強い火花が不可欠。仮にエンジンがノーマルでも、ノーマルプラグで高負荷運転を続ければ、焼け過ぎの状態になる。とくにチューニングで出力アップしたエンジンでは、爆発力の増大によって燃焼室温度が上昇して異常燃焼（プレイグニッション）を起こしやすくなるため、プラグの耐熱性を上げ、熱価の高いプラグを選択する必要がある。



Air cleaner
エアクリーナー

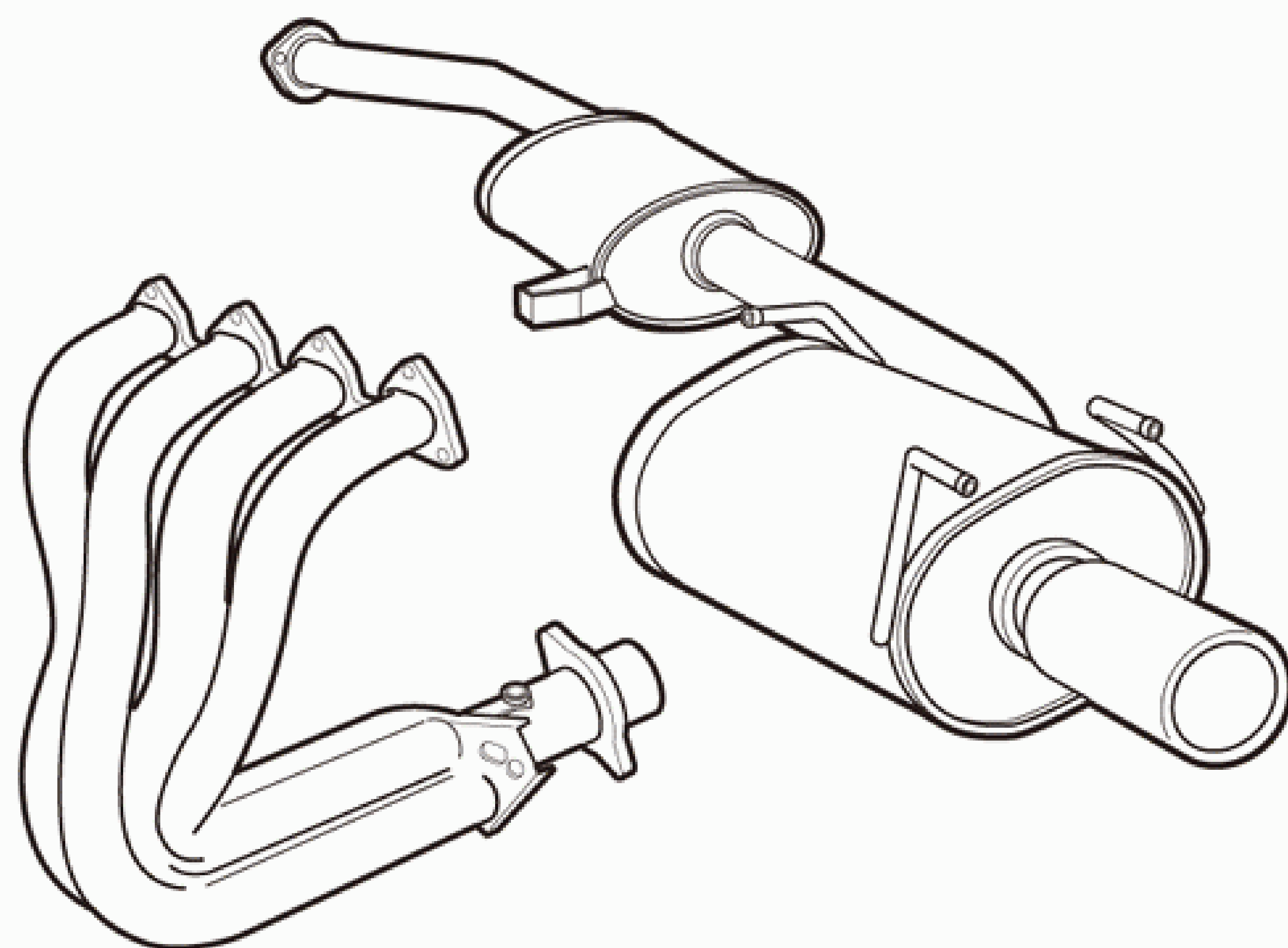
エンジンが吸入する空気中に含まれているホコリや異物を取り除くエアクリーナーも、ノーマルは抵抗が大きく、出力面で不利な要素となる。抵抗の少ない競技用への交換が望ましい。パワーアップするというよりは、高回転域でのレスポンス向上や加速時のピックアップに効果がある。また吸気音が大きくなるという効果も期待できる。





Exhausut system
エキゾーストシステム（排気系）

排気抵抗を低減することで、エンジンの吹け上がりやアクセルレスポンスが格段にシャープになる。とりわけ排気エネルギーを利用するターボエンジンでのパワーアップ効果は大きく、マフラーチューニングだけで1～2割の出力向上が望める。ただしパーツの交換にともなってエンジンのトルク特性も変化してしまうので、エンジンチューニングの狙いによって、どのような特性が求められるのかを見極める必要がある。



Engine oil
エンジンオイル

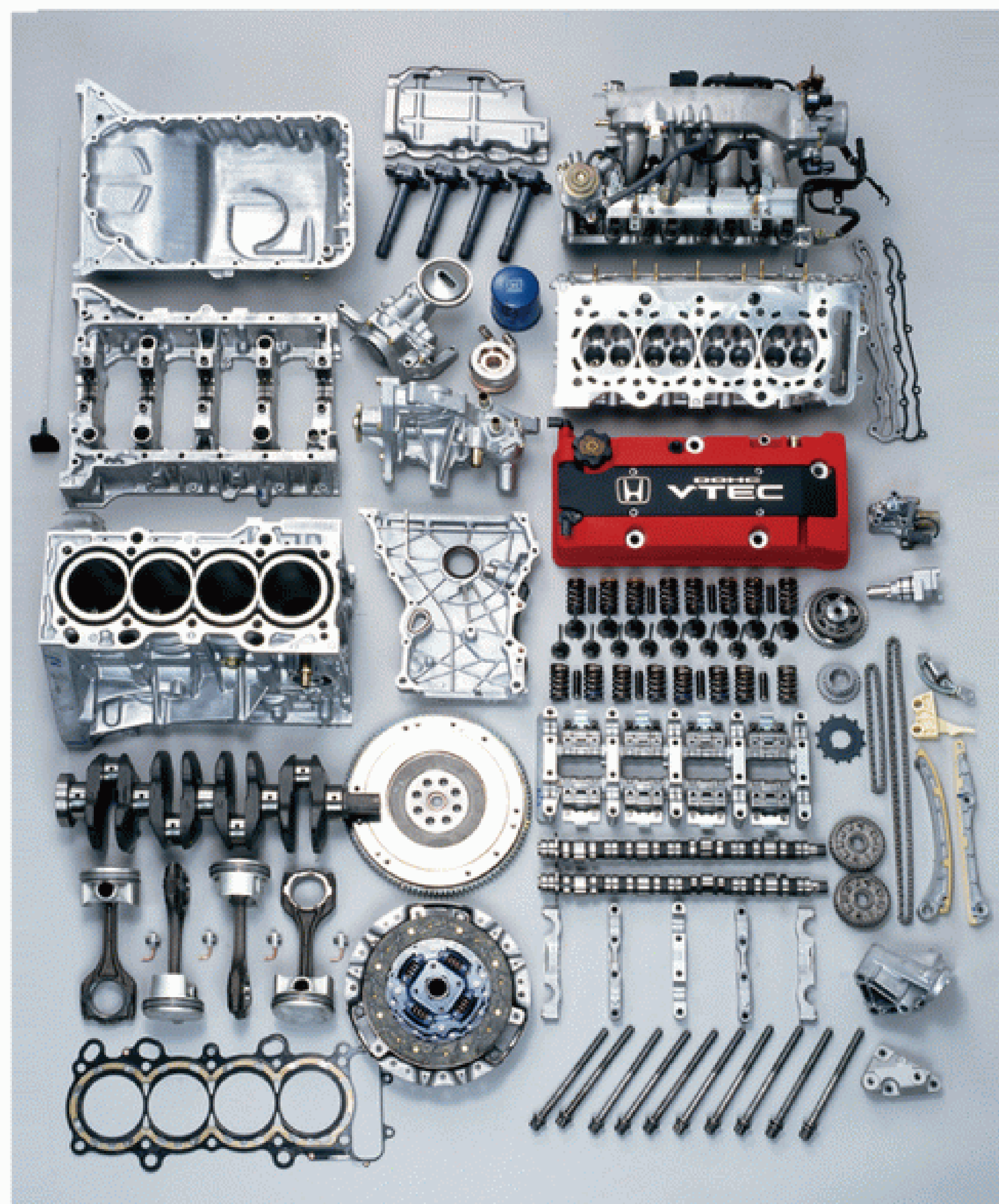
とくに内部各所に大きなストレスの加わる高出力エンジンで欠かせないのが高性能オイルだ。潤滑のほか、冷却、気密保持などの役割を担っているが、仮に油膜切れを起こせばシリンダー内の圧縮が抜けてパワーダウン。また高速で動いている金属部品の潤滑が間に合わず、焼き付きを起こすケースも珍しくない。さらに、フリクションロス（パーツが動く際の抵抗）を生む粘度も重要な要素で、現在では、低粘度で過酷な使用状況下でも安定した性能を維持する化学合成オイルが広く支持されている。

すべてのチューニングの基本。

オーバーホール

量産を目的としたエンジンは、ノーマルの状態では工作精度が完璧とはいえず、本来発揮できるはずのパワーをスポイルしているケースがある。それを改善するには、すべてをパーツに分解し、精密に組み直すことがエンジン性能の底上げにつながる。いわゆる「オーバーホール」と呼ばれる作業で、同時に各々のパーツのバランスを整え、軽量化を図ることで効果はさらに増す。また排気量に制限を受けないチューニングにおいては、この際にエンジン自体の容量アップも行うのが効率的で、無理なく高いパワー／トルクの向上が期待できる。

最近のエンジンの中にはノーマルの状態で、すでに細部に渡って入念な調律が行われていて、オーバーホールの余地がわずかしか残されていないものも存在する。

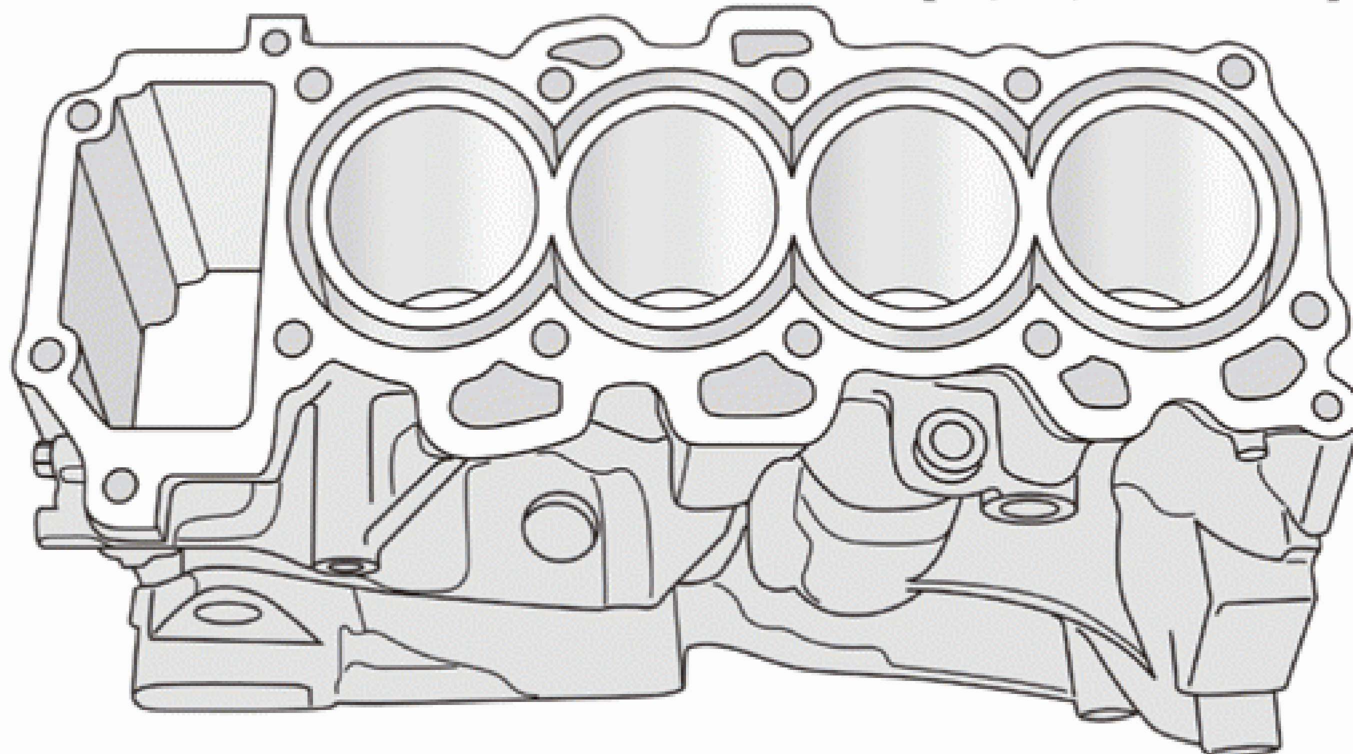


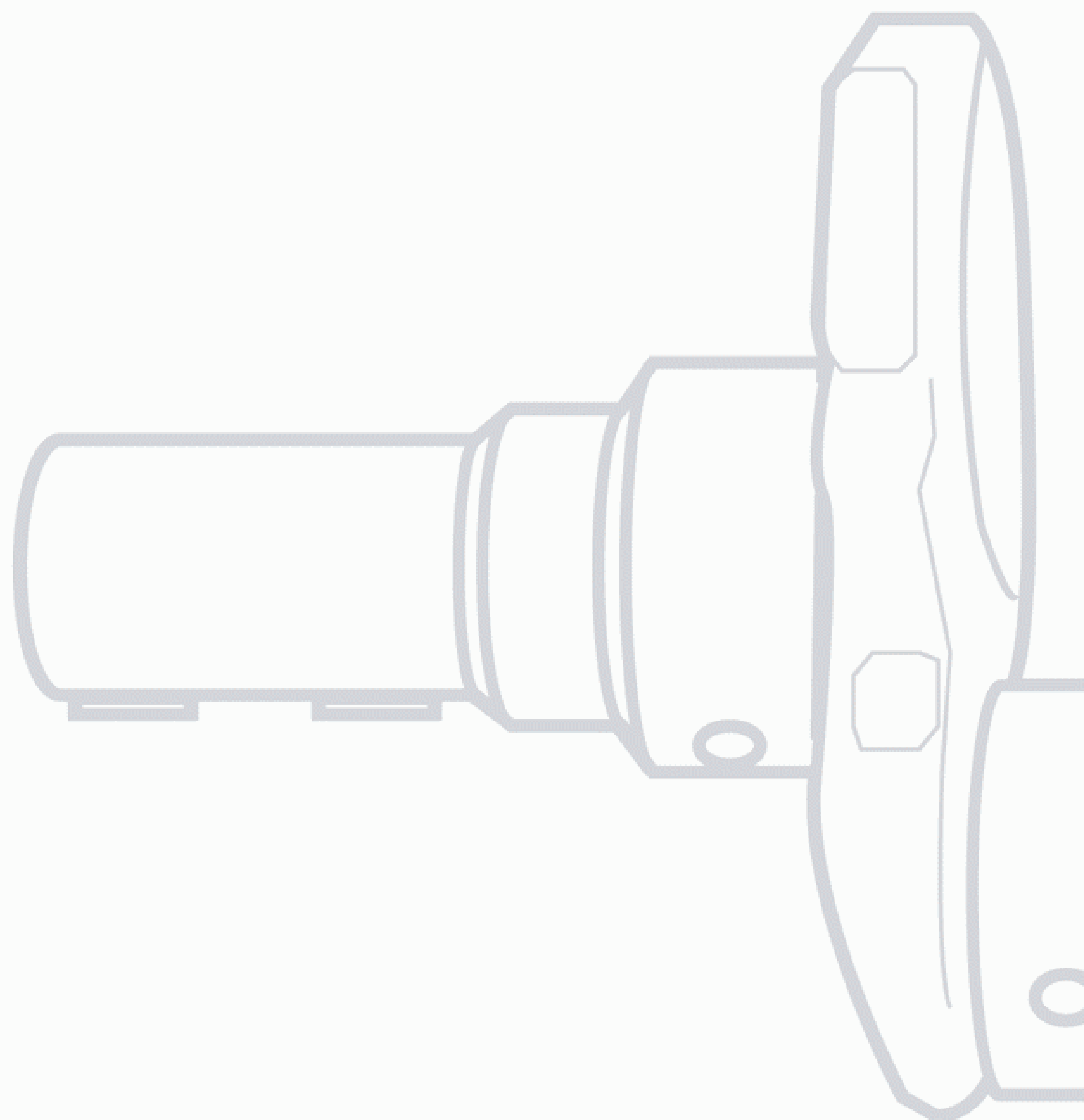
Scale up

排気量アップ

エンジン本体に手を加えるチューニングでもっとも確実で、高い効果が得られるメニュー。多くの混合気を燃焼させることで、より大きなパワーを得る。手法はシリンダーボア（内径）を削り、大径ピストンを組み込むボアアップと、クランクシャフトやコンロッドなどを交換してピストンストローク（行程）を大きくするストロークアップの2つがある。同じ排気量拡大でも両者は性格が異なる。前者は回転を上げてパワーを得るのに適していて、後者は中低回転域のトルクアップが期待できる。なお最近のエンジンは軽量化のため、シリンダーブロックの肉厚が薄くなっており大幅なボアアップが難しくなりつつある。

【シリンダーブロック】

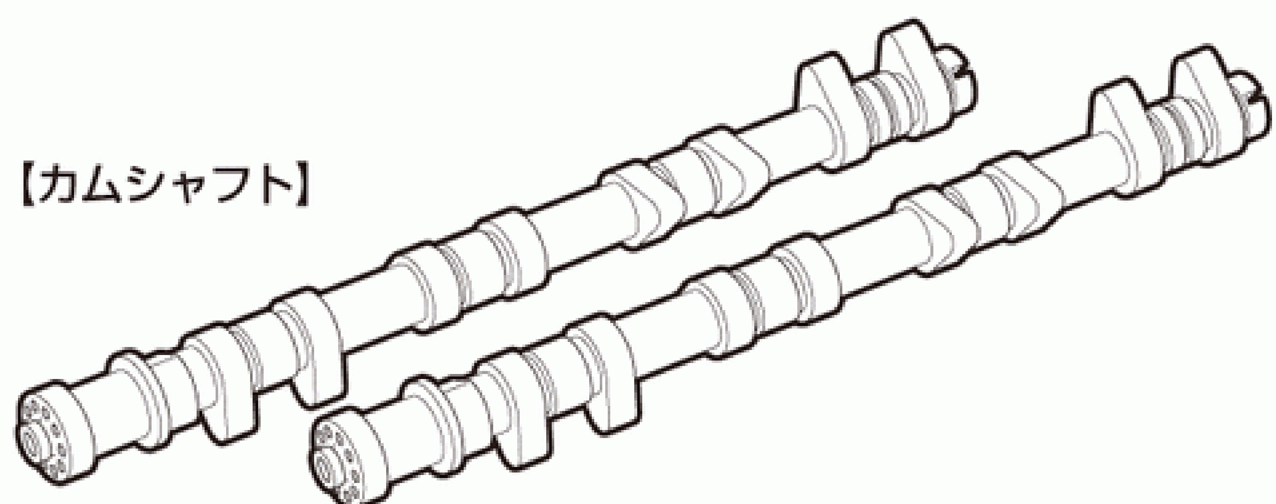




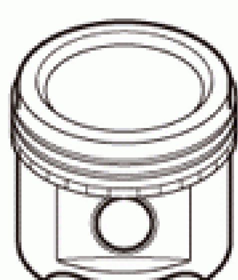
Balancing
バランス取り

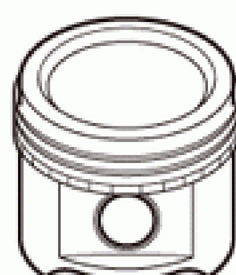
ノーマル状態では、気筒ごとのピストンやコンロッドにはわずかながら重量誤差がある。またクランクシャフトに回転バランスの狂いがあると抵抗が生じ、パワーロスの要因となる。そこでエンジンを分解し、精密にひとつひとつのパーツの重さを計測して均一化、さらに回転バランスなどを補正してスムーズにエンジンを回し、効率よくパワーを引き出すのがバランス取りだ。加工で補正し切れない場合は新品の同パーツに交換することもある。エンジンに大幅な改造が許されていないワンメイクレースの車両では必須ともいえるチューニングだ。

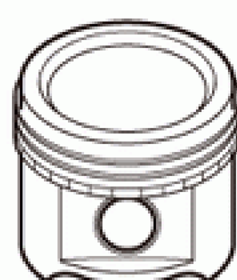
【カムシャフト】

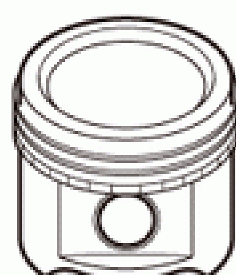


【ピストン】









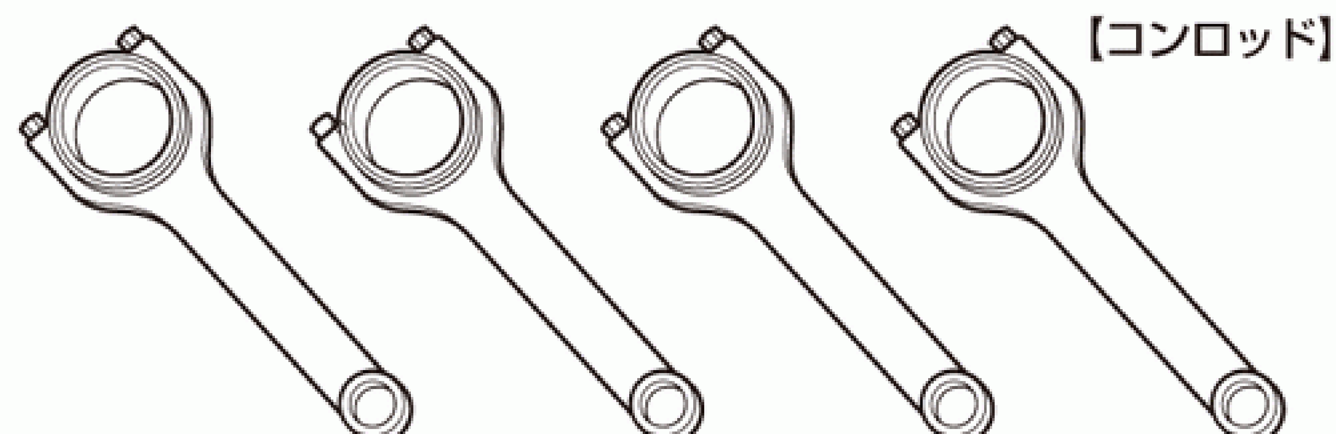
Lightweighting
軽量化

超高速で動くエンジンパーツには慣性が働き、フリクションロスとなってパワーを損失させる。それを解消するのが各パーツの軽量化で、基本的に、バランス取りと同時に行う。ただしパーツの肉厚を削りすぎると耐久性に問題が生じる。

Build up
強化

本格的なチューニングを施したエンジンでは燃焼力の増大によって、各部のパーツに大きな負荷が加わり、破損する恐れもある。強度を高めたパーツが必要不可欠だが、一方で軽さも無視できない。そこで用いられるのが、チタン合金をはじめとする新素材や鍛造製法によって作られた強化パーツで、ノーマルとは比較にならない軽さと強度・剛性を両立している。レース／チューニングエンジンではアルミ製の鍛造ピストン、チタン合金製のコンロッドなどが常識となっている。

【コンロッド】



潜在能力を引き出す。

高回転化

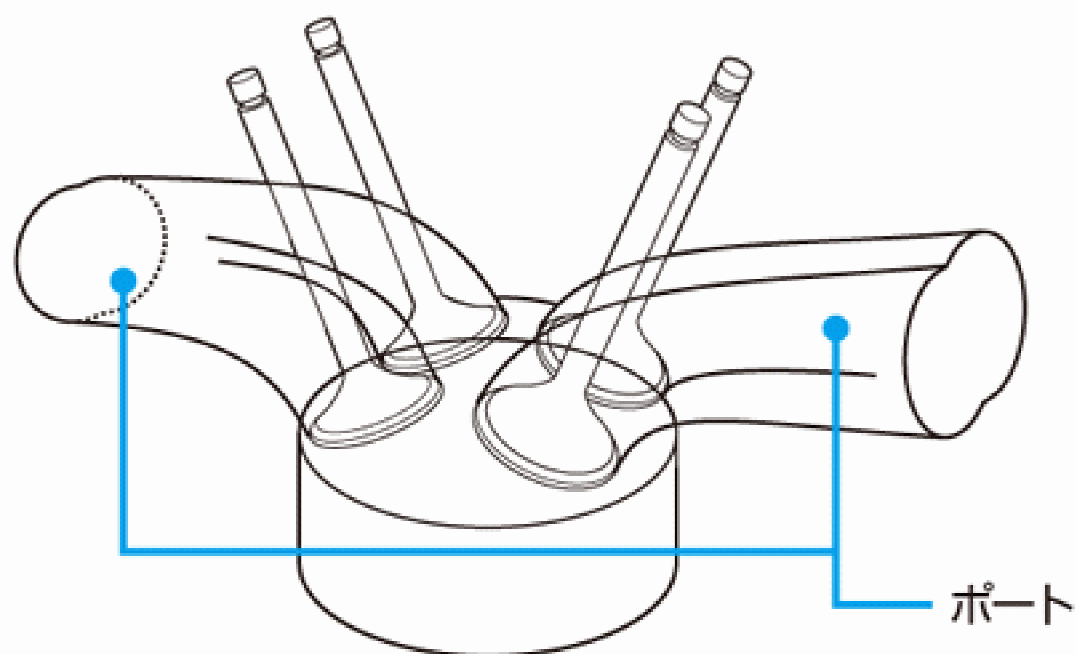
パワーとは「トルク×回転数」だから、高出力化は「いかにエンジンを高回転で回せるか」にかかっている。ここでのチューニングはシリンダーヘッド関連が中心で、高回転域での吸排気効率のアップが鍵を握る。主流はカム作用角を大きく取ったハイカムへの交換だ。同時にバルブまわりの強化も必要となるが、吸排気ポート拡大と同じ効果が得られ、高回転域で圧倒的なパワーがもたらされる。ちなみにエンジン特性で見ると、高回転に適しているのはショートストローク型だ。吸排気効率が高く、ロングストローク型と比較してピストンスピードそのものも速くないためである。



ハイカムに交換するだけでエンジン特性を高回転・高出力型に一変させることが可能。その一方、低中回転トルクは極端に細くなり、純粋なレース用ではアイドリングすらしなくなることもある。

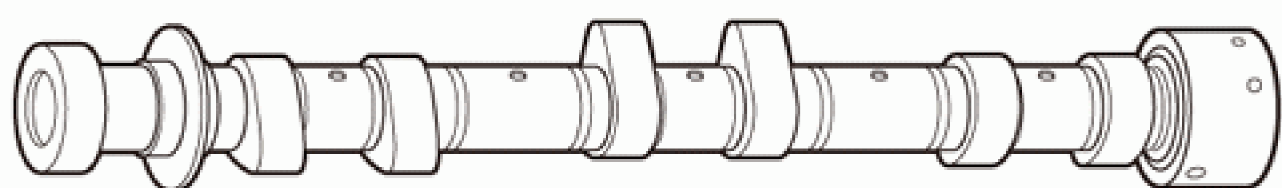
Port
ポート

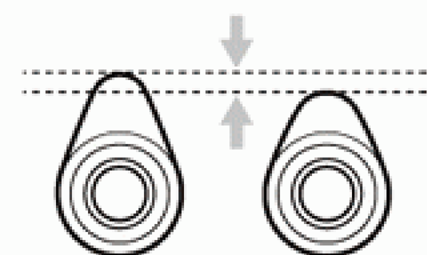
混合気や燃焼後の排気ガスの通り道である吸気／排気ポートは、できる限りなめらかなほうが望ましいが、コストの関係からノーマルエンジンの場合は入念に仕上げられていることはまれで、吸排気の抵抗になっている。鋳物特有の表面のザラつきや穴の絶対的なサイズ、歪みなどの問題がそれだ。そこを研磨で鏡のように仕上げ、スムーズな吸排気を促す。ポート研磨だけでも高回転のフィーリングは向上するが、カムの交換やヘッドの面研など、シリンダーヘッド全体のチューニングと同時に行わなければ本来の効果は得にくい。



Camshaft
カムシャフト

カムシャフトは吸排気バルブを開閉させる軸のことで、ハイカム＝ハイリフトカムとは、カム山部分を高くしてバルブが開いている時間を長くしたカムシャフトのことをいう。つまり吸排気ポート拡大と同様の効果を得ることが可能になる。低中回転域でのトルクが細くなる反面、高回転域のパワーは劇的に向上する。ピーキーな特性こそ否めないが、自然吸気式エンジンで高出力化を図る際の定番チューニングだ。





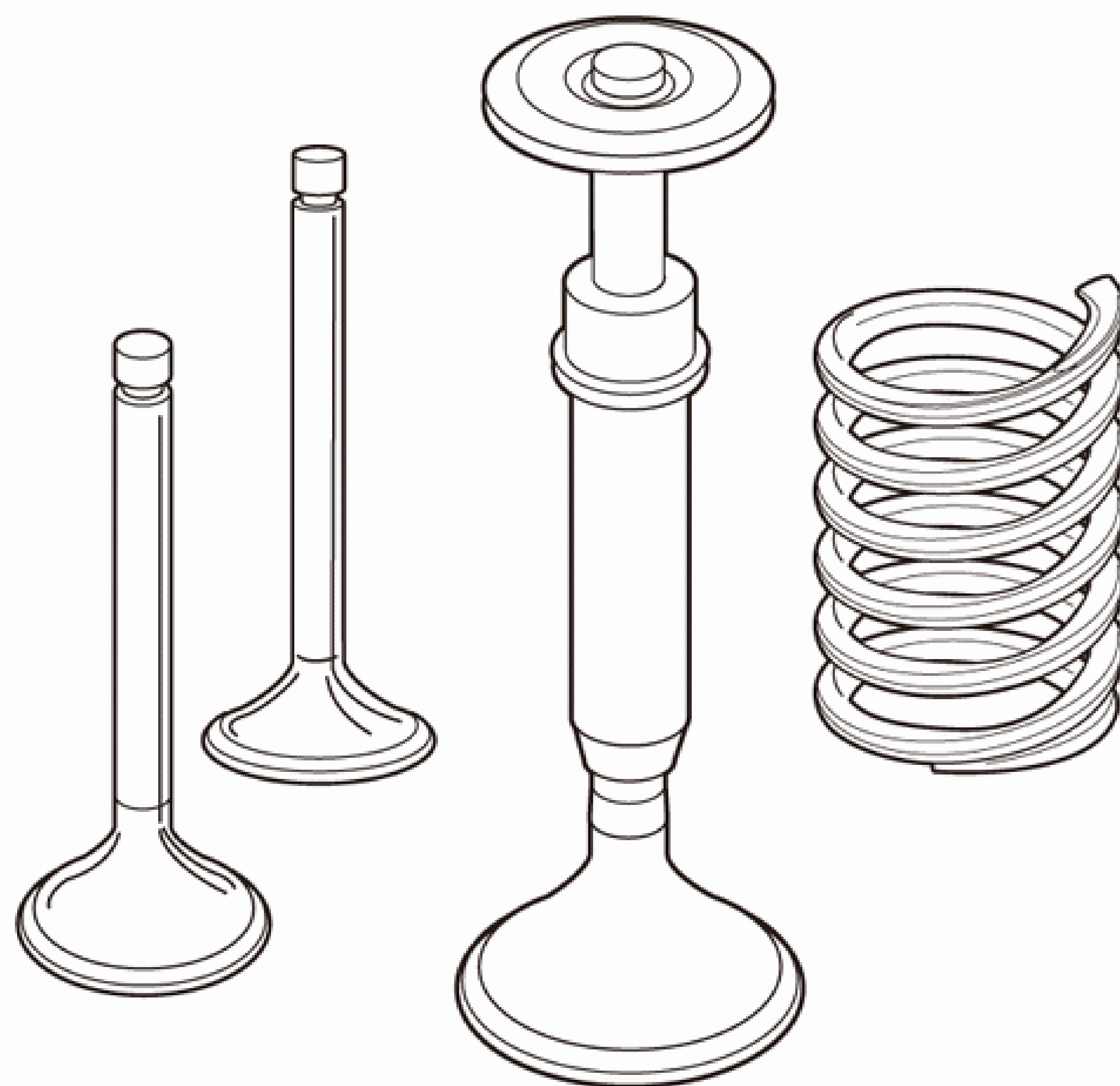
右がノーマルカム、左がハイカム。山の部分が高いだけハイカムはバルブの開く量を大きくすることができる。

Valve
バルブ

ポート研磨やカム交換と同時に考えたいのがビッグバルブ化。吸気バルブ側の開口面積を拡げることで吸気量を増やし、充填効率を高めるためのチューニング。もっとも大きいバルブは重く（慣性が大きく働く）なるため、対策として超軽量なチタン製としていることが多い。

Valve spring
バルブスプリング

高回転でエンジンを回した際に生じるバルブスプリングの異常振動、すなわちサージング（カムの動きにスプリングの伸縮スピードが追いつかなくなる状態 ）を防ぐ意味で、スプリング強化は不可欠だ。とくにハイカムを組んだ場合は必須で、ノーマルスプリングのままだとバルブのリフト量の増加にスプリングが耐え切れず、最悪の場合はスプリングが密着してカムがロックしたり、バルブとピストンが接触するといった事態も発生しかねない。ただしあまり強いスプリングを組むとエンジンの抵抗となったり、バルブ回りの磨耗を早める原因にもなるので注意しよう。



回転を上げて パワーを稼ぐ。

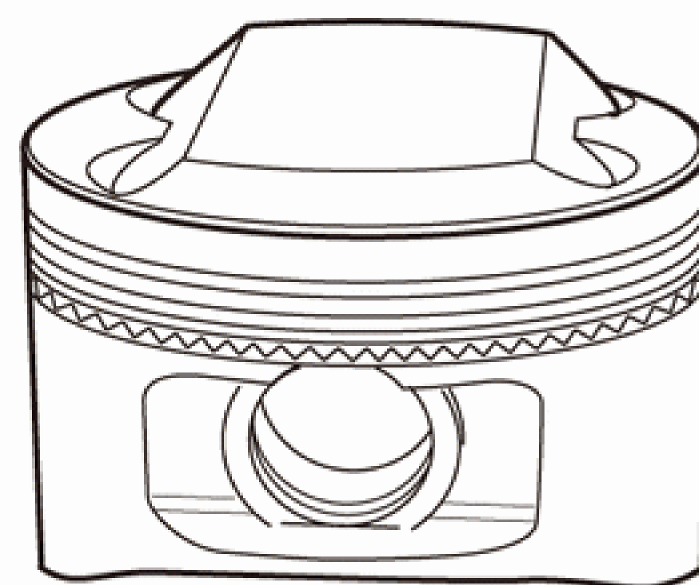
高圧縮化

エンジンは、ピストンを押し上げて混合気を圧縮する際の力が増すほど、燃焼力が高まってより大きなパワーとトルクが引き出せる。ここでのチューニングはシリンダーヘッドの燃焼室容量の設計がポイントとなる。ただしあまり圧縮比を上げすぎると、エンジンを回す（圧縮する）際の抵抗になるほか、異常燃焼の原因にもなりかねないので注意しよう。燃料調整のほか、点火時期を遅らせてコールドタイプのプラグに換えたり、爆発力が増すことに対するピストンやコンロッドの強化などの対策も必要になる。

Piston

ピストン

圧縮比を高めるうえで、もっとも代表的なチューニングがハイコンプ（ハイコンプレッション＝高圧縮）ピストンへの交換だ。上部が凸状になっている形状からもわかるように、ノーマル形状のピストンに対して燃焼室容積を縮小して高圧縮化を図っている。ただし、高圧縮化では混合気温度、燃焼温度が高温になり、ノッキング＝異常燃焼を発生しやすくなるため、混合気の流れの改善などの対策が求められる。



高圧縮化は高回転化と同時に行うのがセオリー。また燃焼力が大きくなる分、エンジン内部には補強も必要になる。

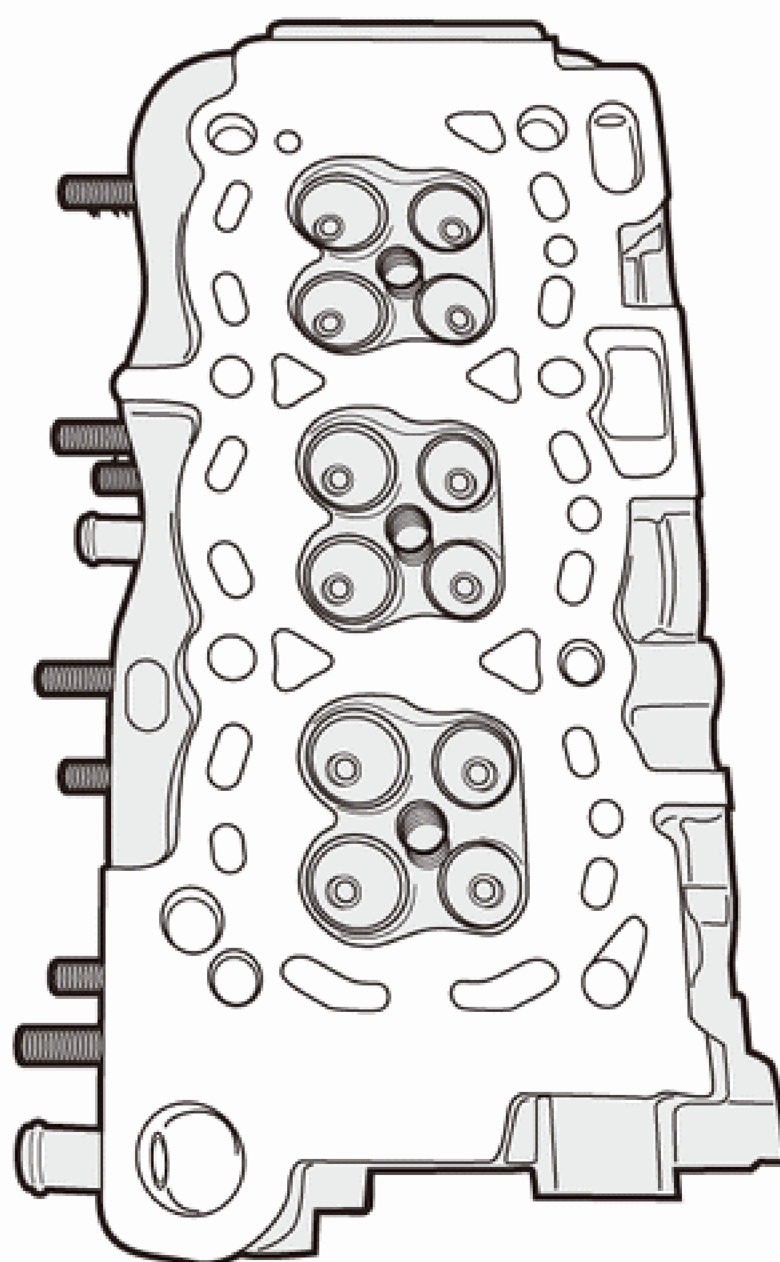
Burner
燃焼室

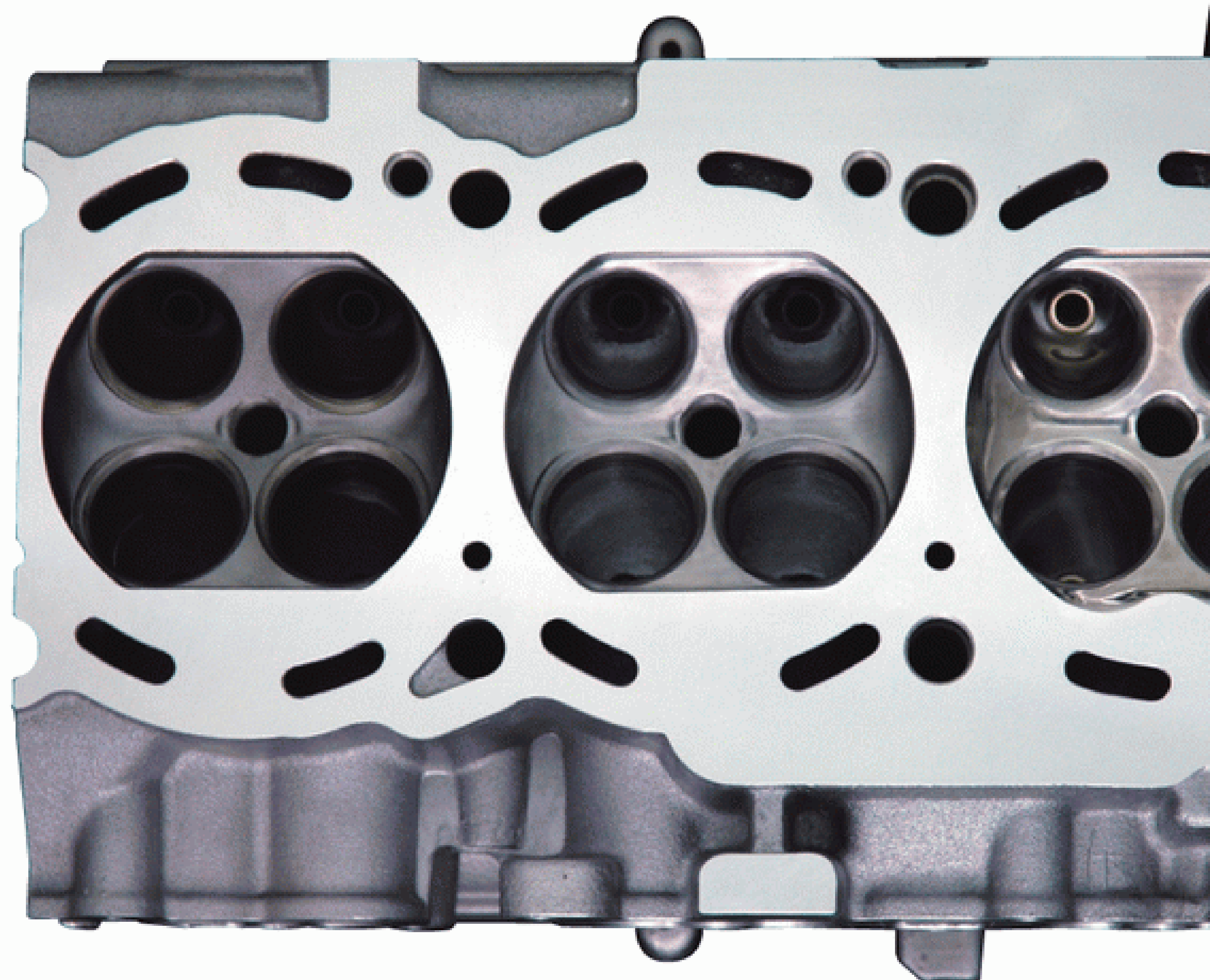
燃焼室の加工は、大掛かりなものでは、吸排気や点火の効率に優れるペントルーフ型に加工する手法などもあるが、高圧縮化にともなうノッキング対策「スキッシュ加工」がメインとなる。これは燃焼室内で圧力が高くなるスキッシュエリア（下図グレー部分）を削り取り、若干圧縮比を下げる作業のこと。ただしスキッシュ加工を行うと各燃焼室ごとの容積にばらつきが出てしまうため、同時に燃焼室の精密な容量測定が必要となる。



Cylinder head
シリンダーヘッド

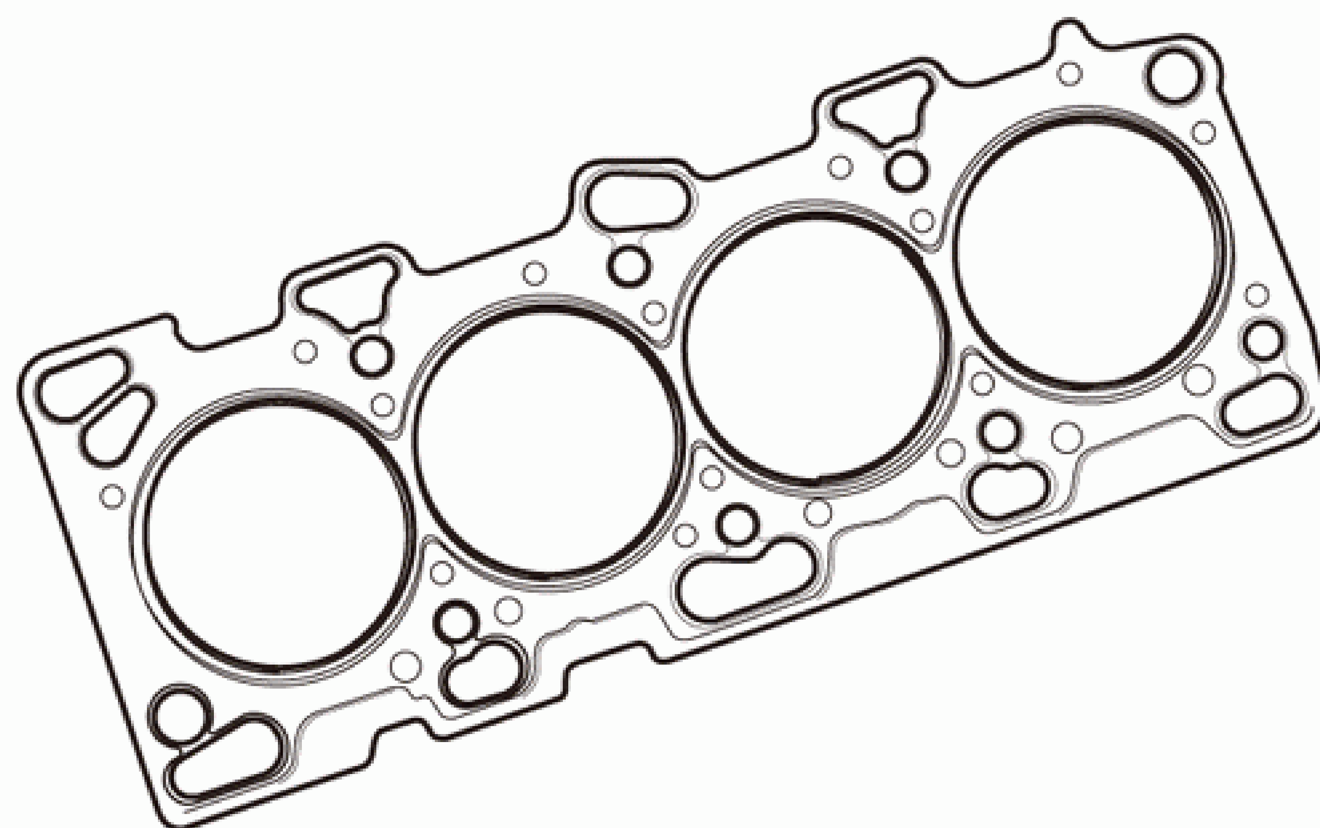
シリンダーヘッドの下面を0.1mm単位で研磨することを一般的に“ヘッド面研”と呼ぶ。基本的に燃焼室の容量を縮小することで圧縮比を高めるのが目的だ。またヘッド面研は、エンジンを過酷な熱条件で使用した際の、シリンダーブロックとシリンダーヘッド間の熱による歪み（＝圧縮漏れの原因）を修正する際にも行われる。





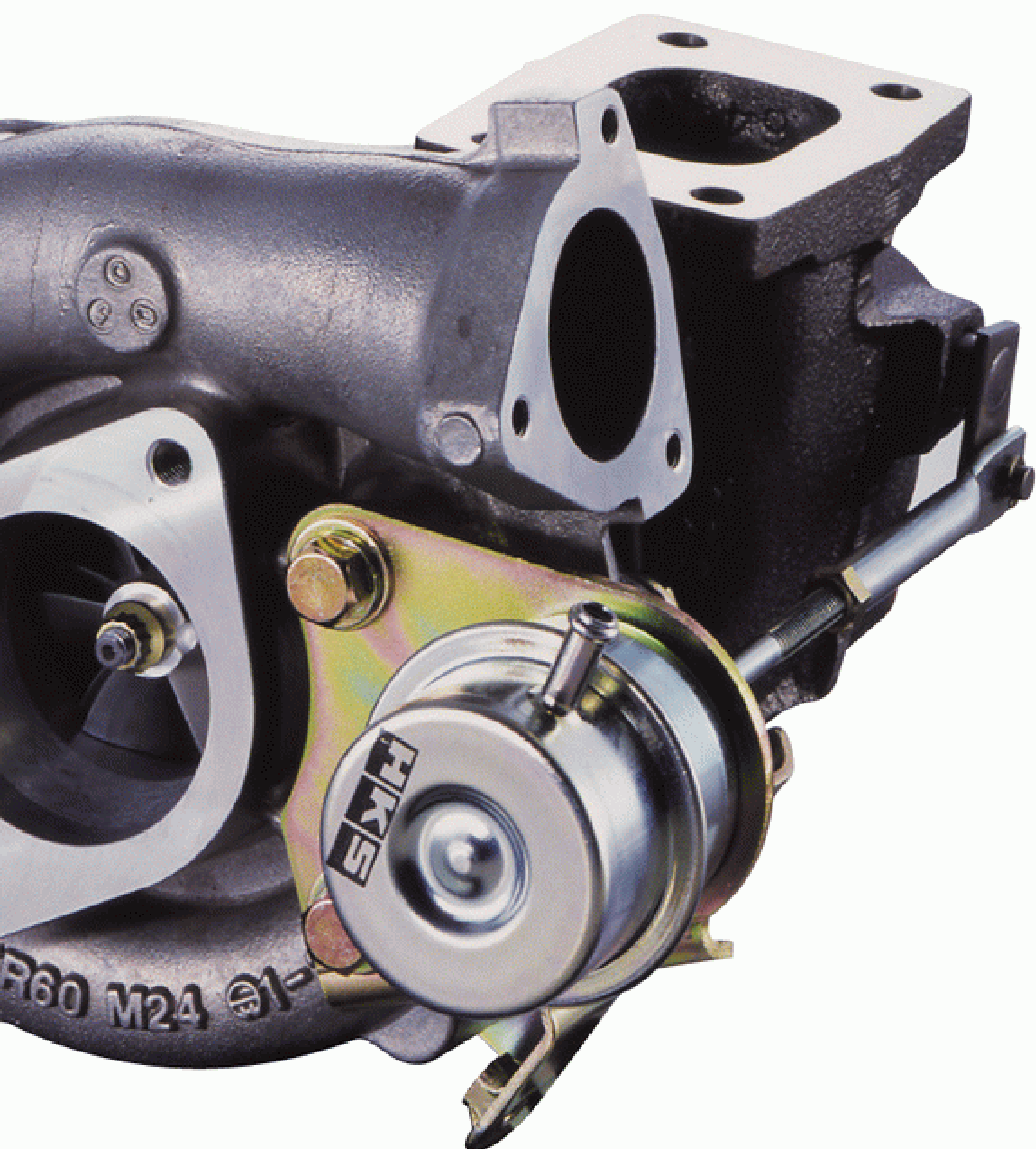
Head gasket
ヘッドガスケット

シリンダーヘッドとシリンダーブロックの間に介在して気密性を保ち、圧縮漏れを防いでいるプレートがヘッドガスケットだ。この厚みをノーマルから薄くすることでも、ヘッド面研を行ったのと同じ効果、すなわち燃焼室容量の縮小による圧縮比アップが得られる。最近ではガスケットの素材に、熱伝導率が高く強度に優れるステンレス材を用いることで、吹き抜けを防ぐとともに圧縮比の適正化が図られている。



爆発力を高める。

大量の圧縮空気を送り込む。



Turbo boosting pressure

ターボ過給圧

ターボチャージャーがどの程度の空気を吸い、圧縮するのかを示す値が過給（ブースト）圧。単位は圧力の「kg/cm^2」で表され、この値を高めるほどパワーを引き出せる。ただし、同時に大量な空気に見合うだけの燃料が必要となり、コンピュータによる燃料調整や、大量の燃料を吐出するためのインジェクターなどに交換する必要がある。さらにエンジン内部にも増大した爆発力に耐えられるだけの強度が求められる。

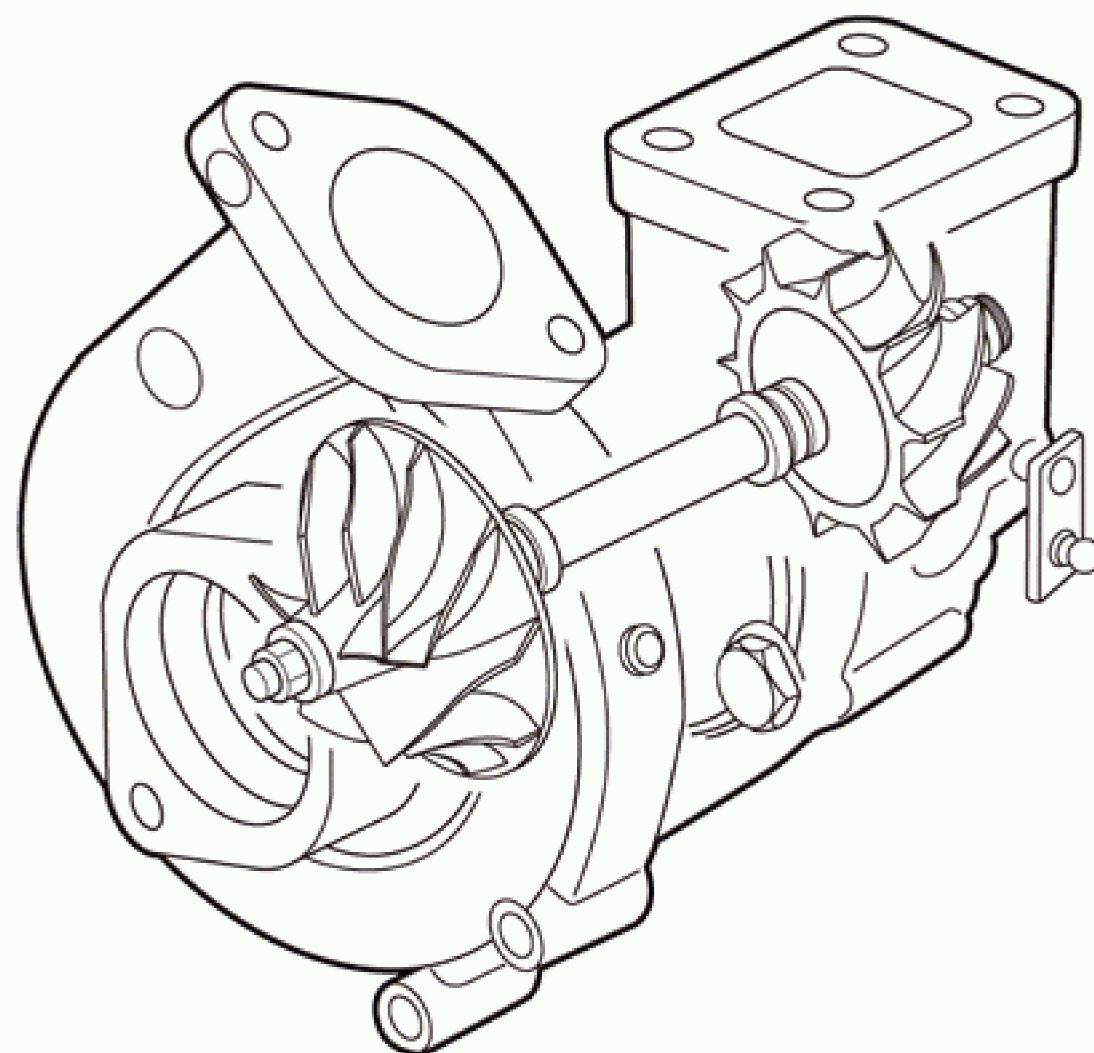
High flow turbine

ハイフロータービン

吸入空気を圧縮するコンプレッサーホイール部分を拡大し、多くの風量を稼ぐことを可能にしたタービンで、基本的にノーマルタービンを分解してコンプレッサーホイールだけを交換する。「カットバック」という処理によってタービンの慣性重量を減らしているため、素早くブーストが立ち上がるのが特長だ。ほとんどレスポンスを犠牲にすることなく、高出力化が可能となっている。

過給器

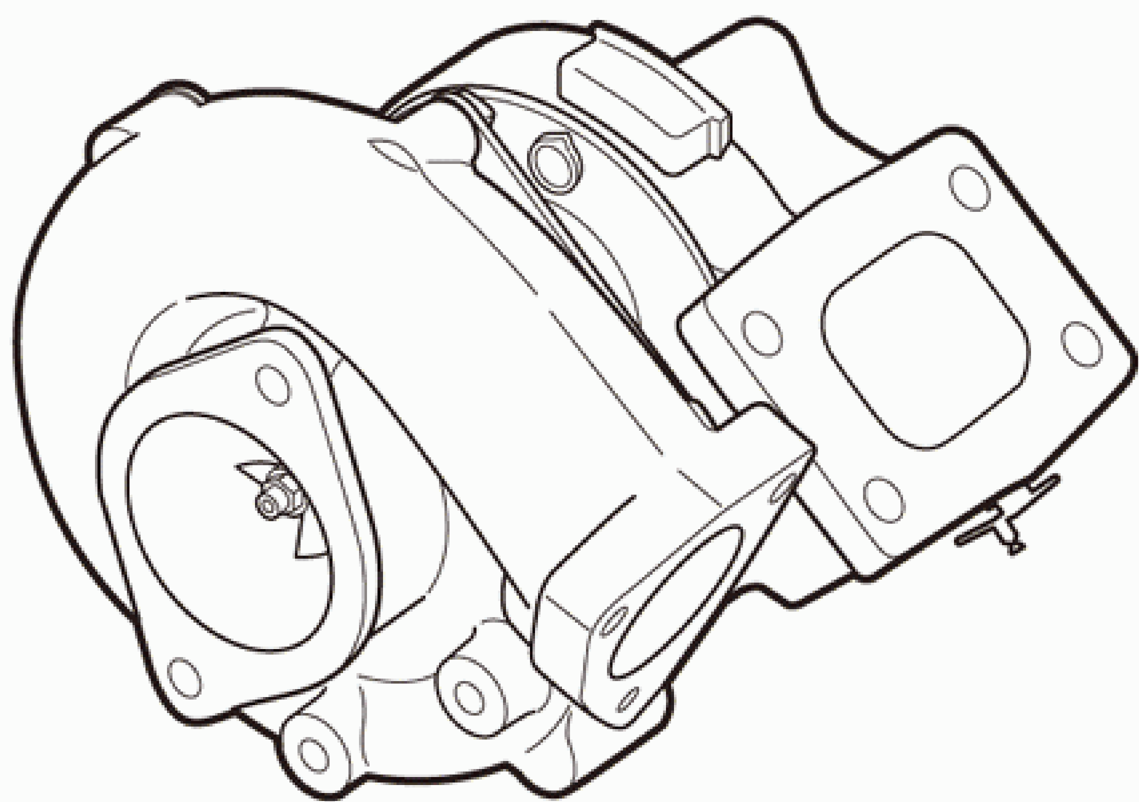
過給圧のアップや過給器自体のサイズアップなどを行うと、エンジン本体に手を加えることなく、比較的容易に排気量アップと同じ効果が得られる。メカニカルチューンと組み合わせればより強力なパワーアップも期待できる。ただし自然吸気式以上にエンジンに過大なストレスが加わるためその対策は不可欠。自然吸気エンジンでは高圧縮化がパワーアップの鍵となるが、過給器エンジンではむしろ圧縮比を下げ、異常燃焼や爆発力の増大によるパーツの破損を防ぐことが求められる。ターボチャージャーの場合は、タイムラグを生じやすいので、極端にレスポンスを悪化させないための工夫も必要だ。



Big turbine

大容量タービン

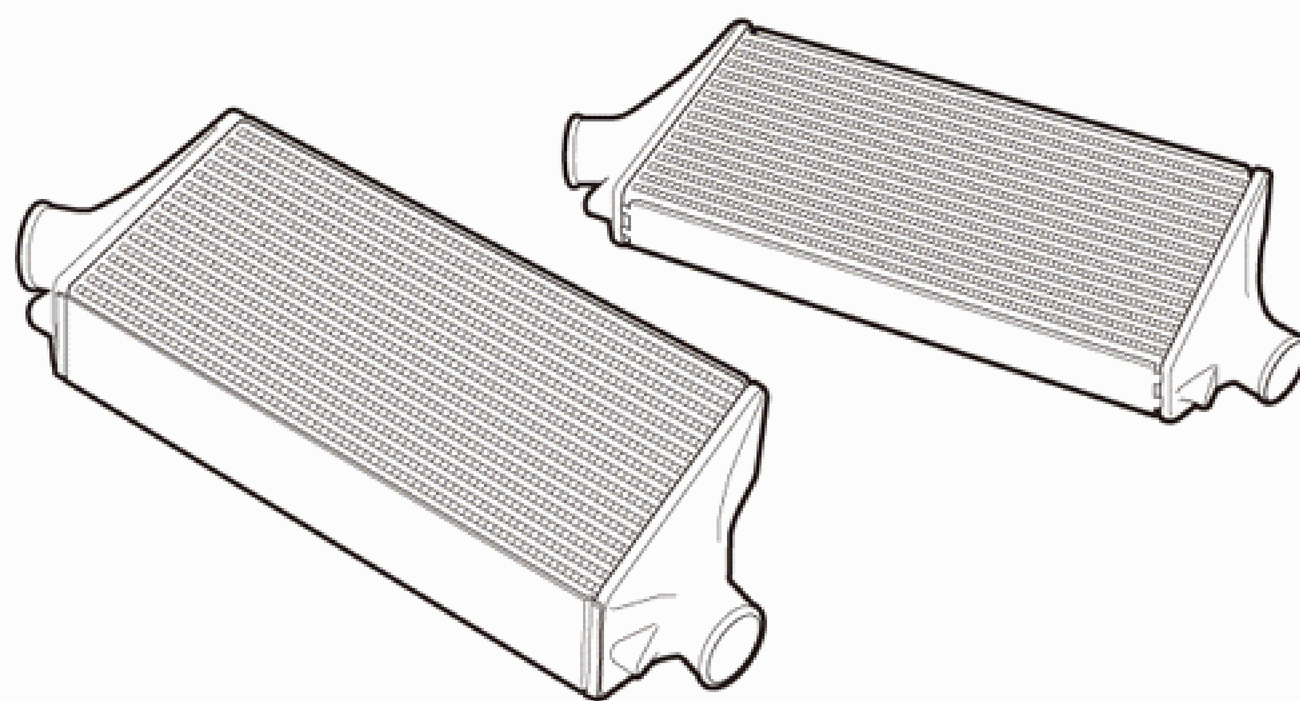
サイズによって出力の限界が決まるタービン本体を、ノーマルからより大きなサイズに交換するチューニング。飛躍的なパワーアップが期待できる反面、大きなタービンを回すためレスポンスが悪化するという短所も生ずる。大量の排気エネルギーを発生できる排気量、あるいはエンジン自体のポテンシャルがない限り、低回転域ではトルクが細く、高回転域でしかターボ効果が得られないなど、扱いにくい特性となることも考慮しよう。



Inter cooler

インタークーラー

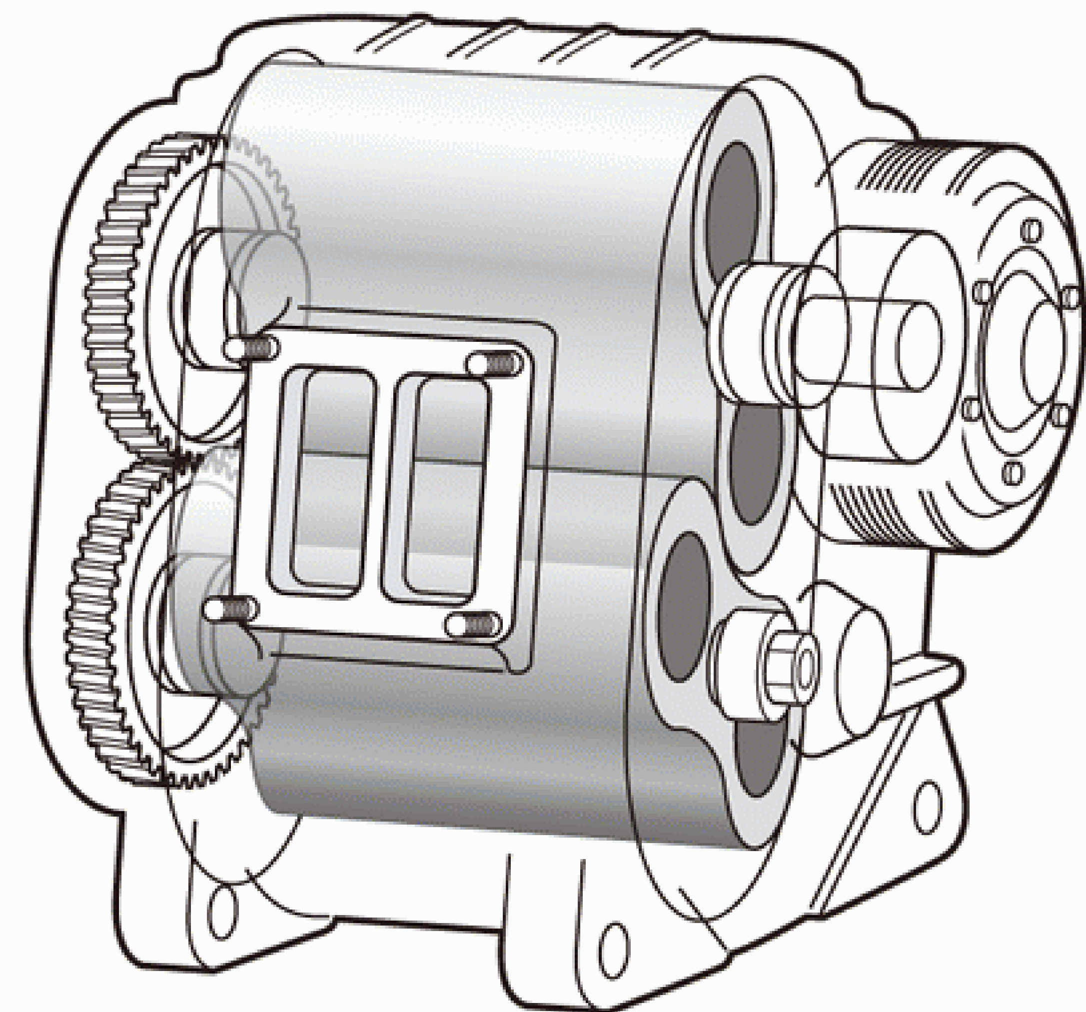
ターボチャージャーで圧縮され高温となった空気を冷やすことでエンジンの充填効率を高め、パワーアップにつなげるパーツがインタークーラーだ。市販車でも常識的に装備されているが、サイズアップして効率を上げることでより高い冷却効果が得られる。ただしあまり大型のインタークーラーを装着すると、圧縮空気が内部にとどまる時間が長くなり過給圧が低下する。これを圧力損失と呼び、場合によっては10〜20%も過給を下げる原因ともなる。



Super charger

スーパーチャージャー

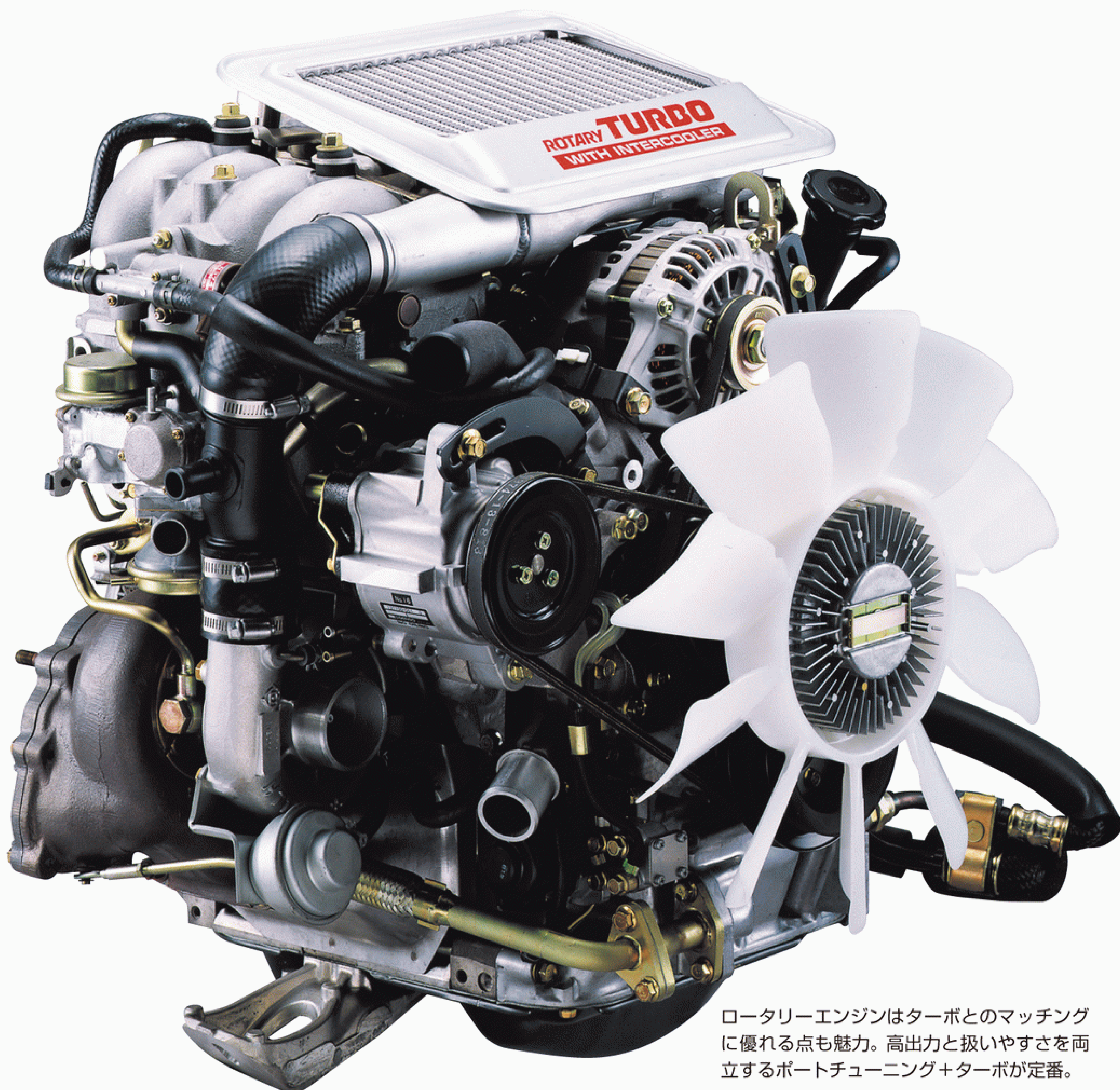
圧縮空気をエンジンに押し込んでパワーを得る原理はターボチャージャーと同様。つまりスーパーチャージャーも過給圧を高めることでさらなるパワーアップが可能となる。ターボと同じく、自然吸気式エンジンにボルトオンで装着可能で、比較的容易に大幅なパワーアップが引き出せる。構造上アクセルレスポンスにタイムラグを生じないため、とくにテクニカルコースでは大きなメリットがもたらされる。





ロータリーエンジン

ロータリーエンジンのチューニングのポイントは吸気効率のアップ。つまり吸気ポートを拡大して多くの混合気を燃焼室に送り込むことだ。これ自体は、レシプロエンジンでハイカムを組み込んだ効果と似ているのだが、ポートの移設や拡大によってパワーアップの度合いや特性が大きく変わる点に注意したい。たとえば競技車専用の「ペリフェラルポート」では低速トルクが極端に小さくなり、通常のドライビングでは極めて扱いにくい性格となる。またロータリーエンジンは構造上、排気ポートとターボチャージャーとの間隔が短く、排気エネルギーで効率よくタービンを回せる。ポートチューンとターボチューンとを組み合わせればより効果的なポテンシャルアップを図ることが可能だ。

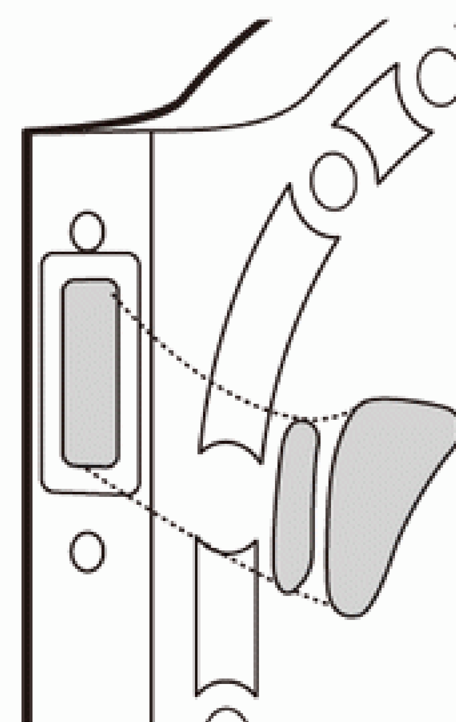


ロータリーエンジンはターボとのマッチングに優れる点も魅力。高出力と扱いやすさを両立するポートチューニング＋ターボが定番。

ポートチューンが高出力化のキモ。

Bridge port
ブリッジポート

サイドポート・チューニングの手法のひとつで、削ったポートの形状が、ちょうど橋がかかったように見えることからこう呼ばれる。2つのポート口の間にブリッジができるのは、ポートを限界近くまで広げていった時に、アペックスシールが通るラインを残しておく必要があるためだ。

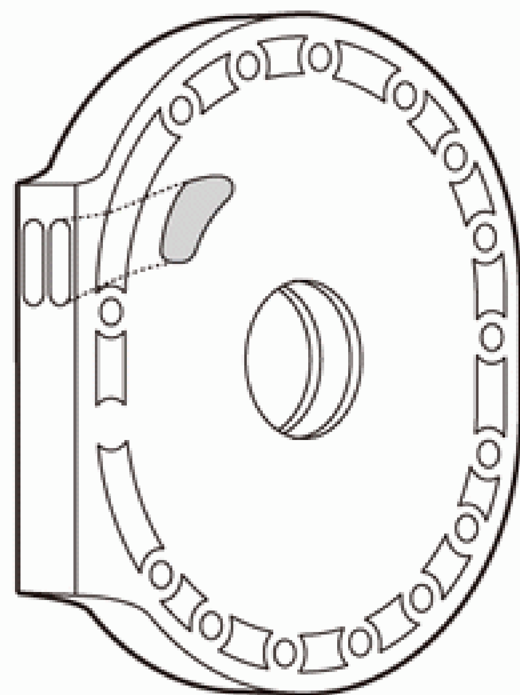


Balancing
バランス取り

レシプロエンジンと比較してシンプルな構造で、かつ部品点数の少ないロータリーエンジンでは、各々のパーツの精度を高め、入念に組み上げるだけで本来のポテンシャルを引き出すことができる。ポイントは「シールセット」と呼ぶ作業。レシプロのピストンリングに相当するアペックスシールをすべて同じクリアランスに揃えて組み直すことで、ハウジング内のローターが正しい圧縮を保ちながら驚くほどスムーズに回転するようになる。逆にいえば、シールの不具合は出力低下に直結し、最悪、焼き付きをも誘発する。

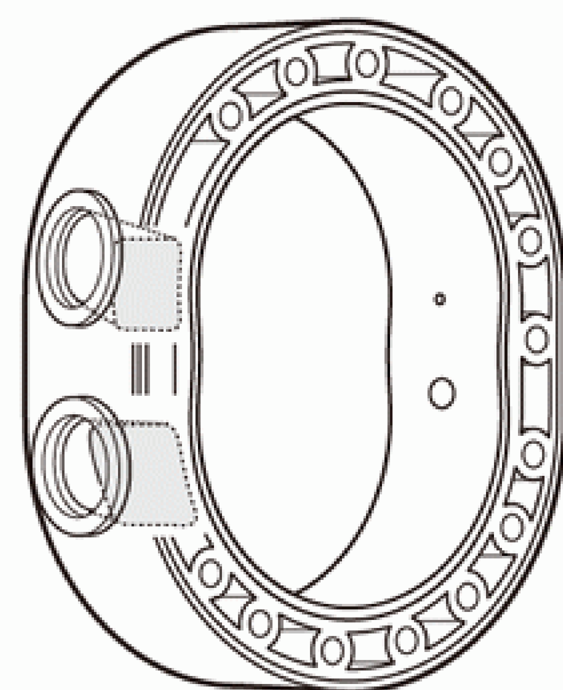
Side port
サイドポート

サイドハウジングに設けている吸気ポートの径を拡大することで、通常より早め（多量）に混合気を吸い込み、パワーアップにつなげる。レシプロエンジンでハイカムを組んだのと同じ効果が得られる。



Peripheral port
ペリフェラルポート

ノーマルエンジンではサイドハウジングに設けている吸気ポートを特殊な接着剤で埋め、ローターハウジング上部に移設する手法。混合気がダイレクトにローターハウジング内に送り込まれるため、高回転域で大きなパワーを引き出せるのがメリット。一方、低速／高速と、分割して混合気を送り込むことで常用回転域のトルクを確保しているノーマル（サイドポート）の機能は失われ、高回転での圧倒的なパワーとは対照的に、ほとんど低速トルクが発生しないピーキーな特性に一変する。



Combination port
コンビネーションポート

クロスポートとも呼ばれる、サイドポート（またはブリッジポート）とペリフェラルポートとを組み合わせたチューニング。低回転域ではサイドポート、高回転域ではペリフェラルポートだけが作動するシーケンシャル方式で、各々のメリットがもたらされる。

Powertra

駆動系の調律

**エンジンパフォーマンスをスピードへと転化させるドライブトレイン。
パワーを細大もらさず路面に伝える効率のよさとともに、
高出力を確実に受け止める強靭さが求められる。**

エンジン性能を引き出す。

ファイナルギア比

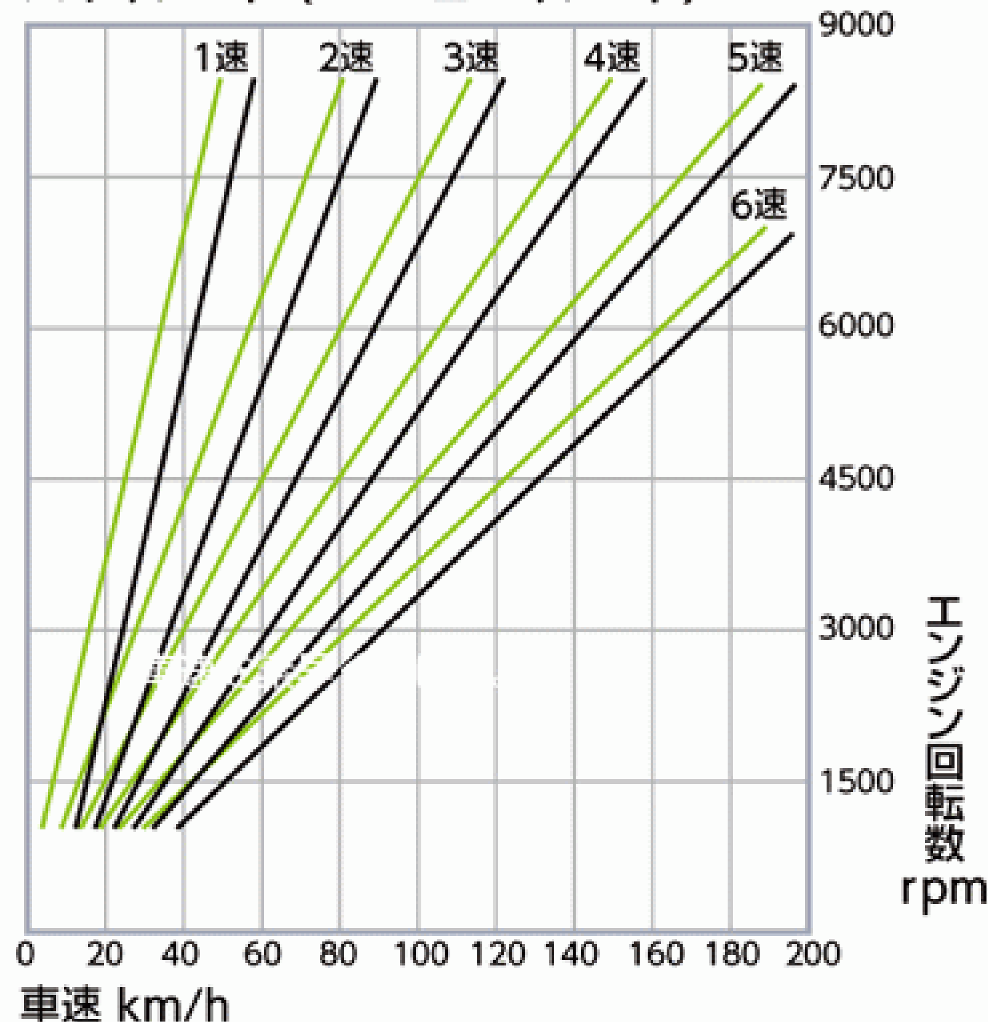
エンジンパワーを最高速重視にも加速重視にも振り分けられるのが、ファイナルギアの歯車の比率を変えること。つまりファイナルレシオの変更だ。とくにファイナルレシオをローギアード化すれば、ピーキーな高回転・高出力型エンジンのパフォーマンスを引き出しやすくなり、格段の加速性能アップが期待できる。

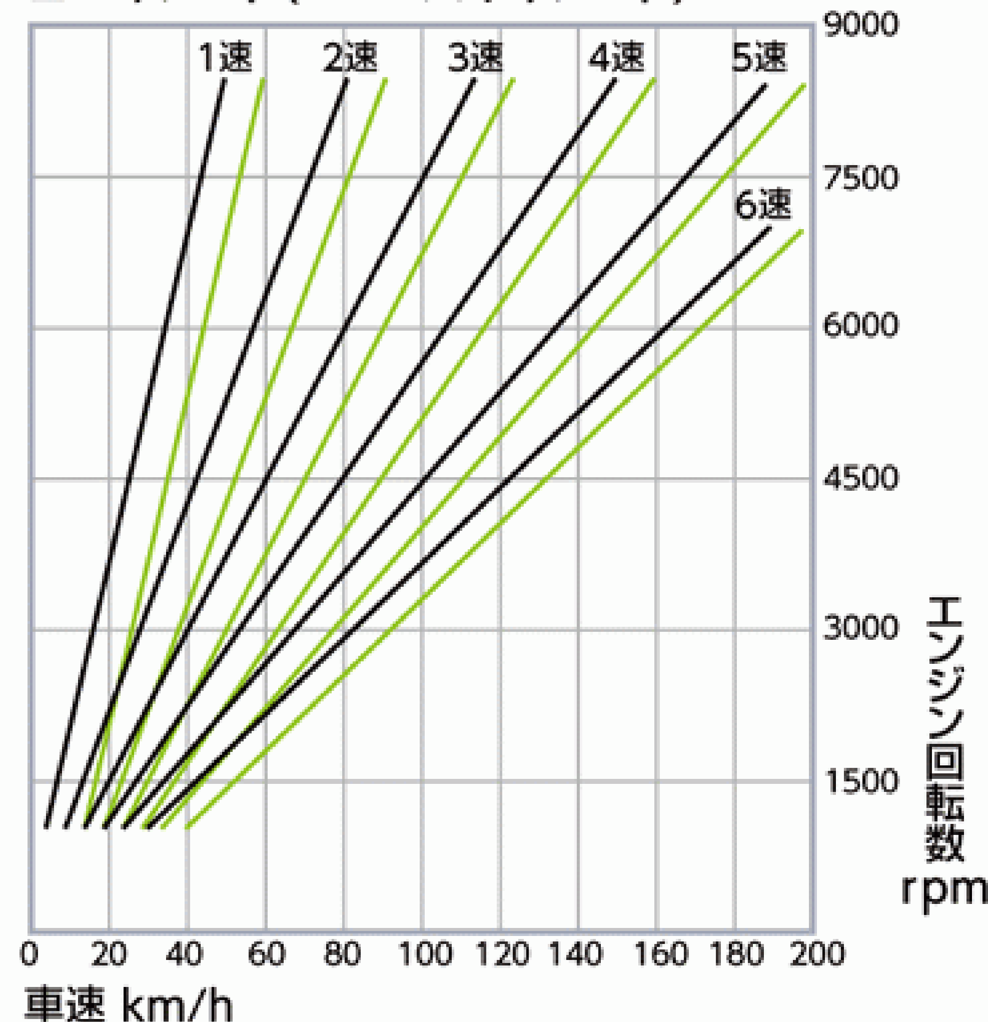
High geared
ハイギアード化

低いエンジン回転数で車速を伸ばすことができるため、トップスピードを重視するようなシチュエーションでは有利に作用する。また、燃費面でのメリットも大きい。反面、エンジン回転を上げてパワー／トルクバンドに入れるまでにタイムラグを生じるため、加速が緩慢になることは否めない。タイトコーナーからの立ち上がりなどでは、有効なパワー・トルクを引き出しにくく、十分な加速力を得るのは難しくなる。

Low geared
ローギアード化

3速や4速といった比較的高いギアポジションでも高回転を維持しやすいため、最高速は犠牲になるが、有効なパワー・トルクを引き出しやすく、加速性能を高めることができる。また、コーナリングでもエンジン性能をフルに生かした立ち上がり加速が可能で、とりわけタイトコーナーが主体のテクニカルコースとのマッチングは申し分ない。ただし、アクセル操作に対するエンジンのピックアップが鋭くなる分、オーバーレブに対する注意が必要になる。







ミッションギア比

一般的に、ミッションのチューニングといえばギアのクロスレシオ化（隣り合うギアの比率を接近させること）を意味し、有効なパワーバンドの維持がしやすくなる。加速性能も大きく向上するが、ファイナルとの組み合わせによってはオーバーレブさせやすくなり、頻繁なシフトチェンジが求められる。

Close ratio

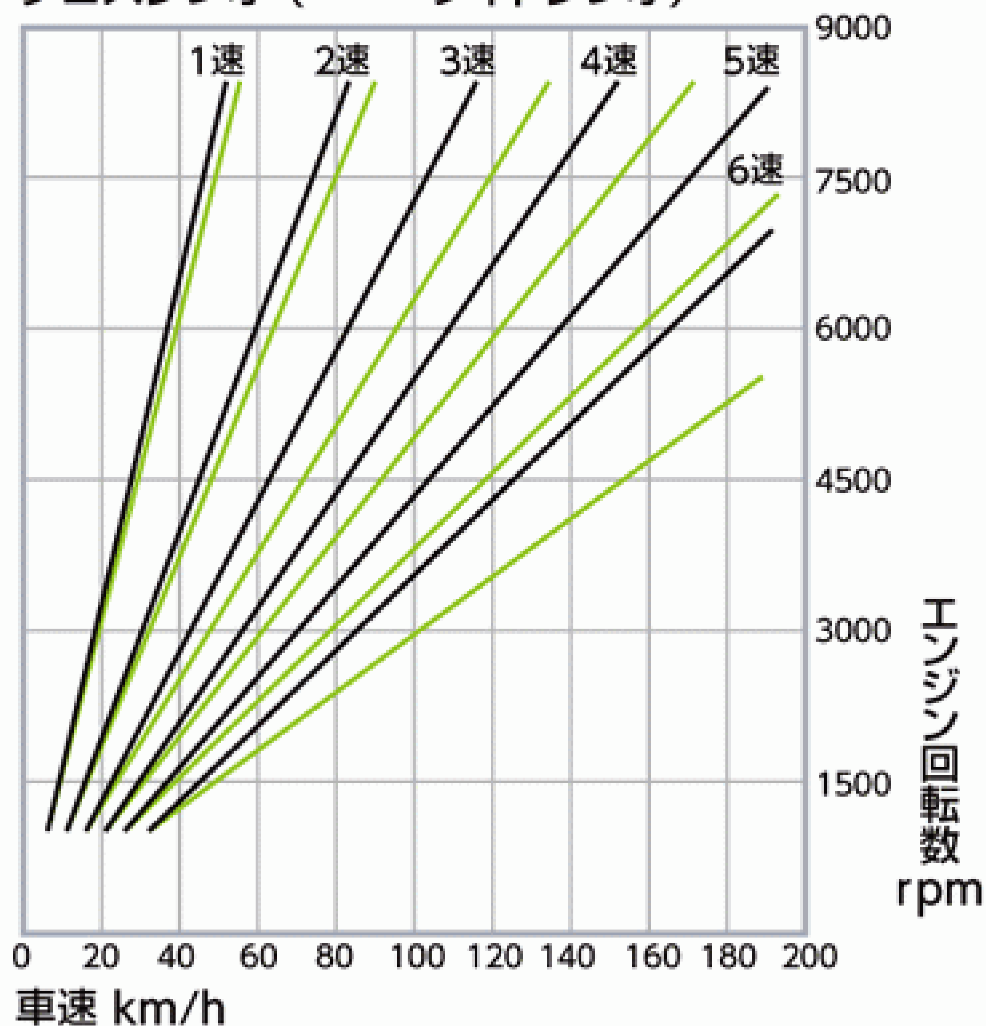
クロスレシオ

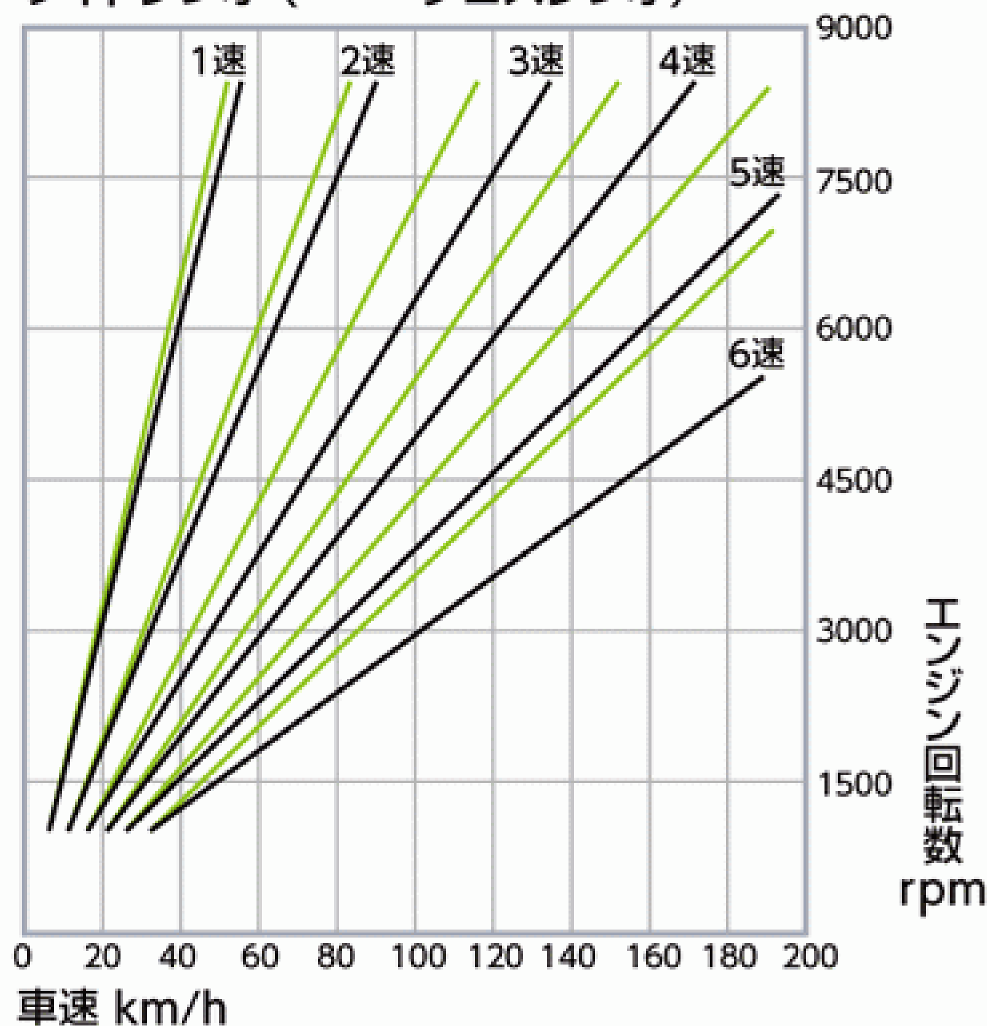
マニュアルトランスミッションの各ギアの比率を接近させたものがクロスミッション。比率を狭めるほど、シフトアップ時のエンジン回転の落ち込みが少なくなり、パワーを効率よく引き出せるようになる。とくにハイカムを組むなどして、パワーバンドが狭められた自然吸気式エンジンに適したギアリングといえる。コースレイアウトなどに応じ、ファイナルレシオとのマッチングも含めて設定するのが一般的だ。

Wide ratio

ワイドレシオ

ハイギアード化と同様、一般的な市販車は燃費を重視し、エンジン回転を低く抑える目的で各ギアの比率を大きく設定する。その結果、シフトアップしてもエンジンパワーがマイルドに路面に伝わるようになり、加速力が犠牲となってしまう。通常、1速から5速、ないし6速すべてをワイドレシオに設定することは考えにくく、発進・加速で使う1速・2速はクロスレシオ、3速以上をワイドレシオというように、エンジン特性やコースレイアウトなどに応じて、クロスとワイドを組み合わせることが多い。

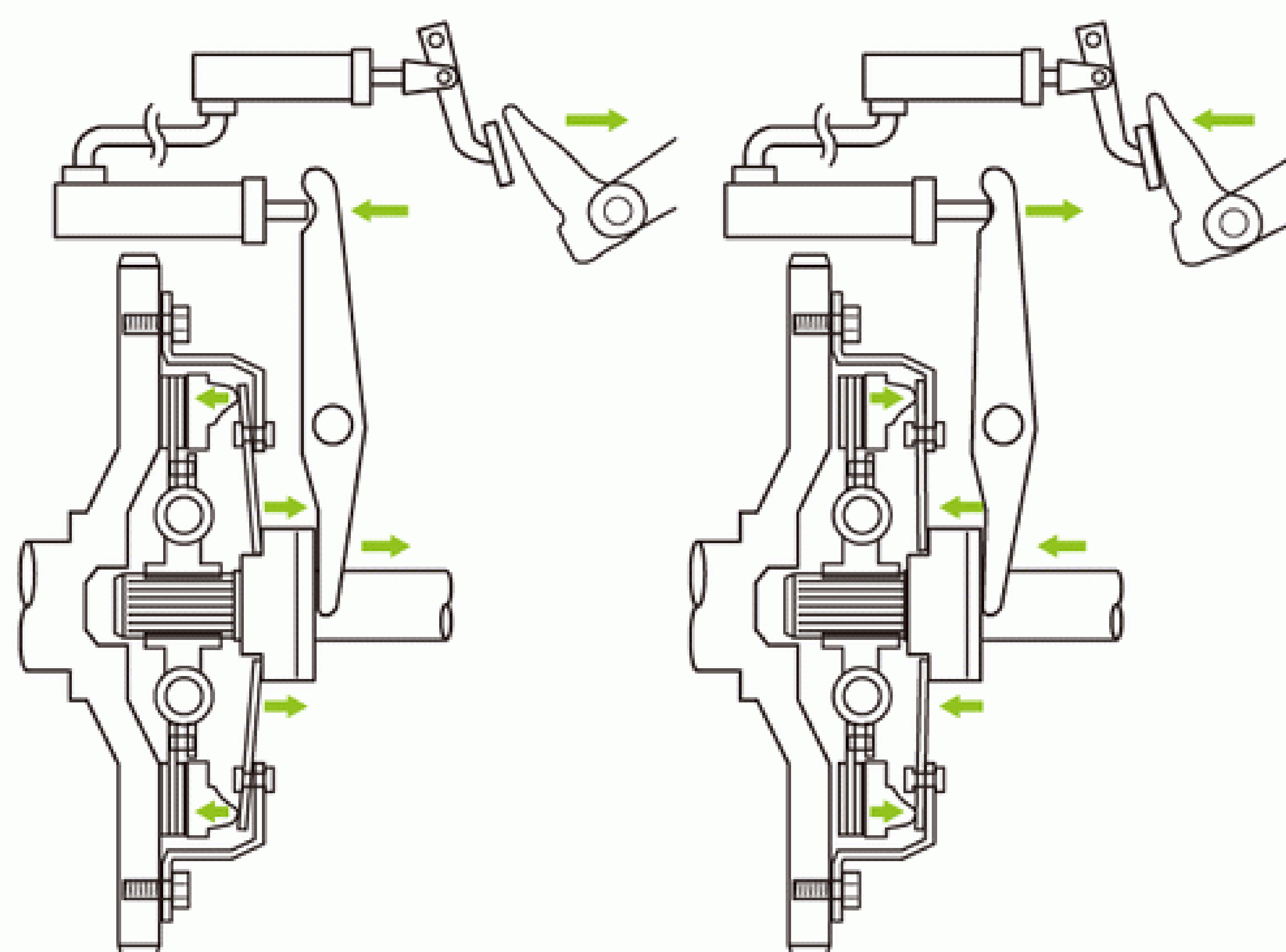




駆動ロスを抑え、レスポンスを高める。

クラッチ

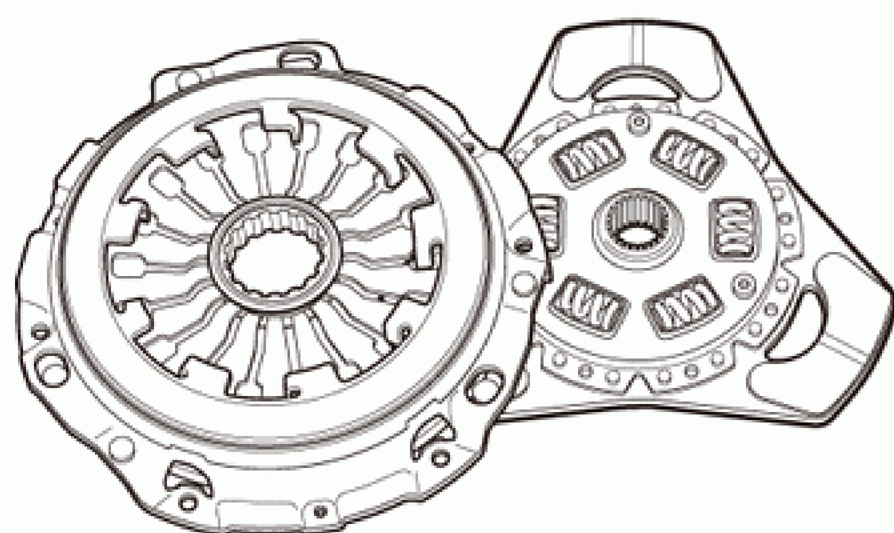
チューニングエンジンの増大したパワーをロスなくミッションに伝え、シフトチェンジを確実に行う上でクラッチ強化は不可欠。わずかでも滑りを生じれば加速性能はダウンする。出力／トルクアップの度合いに応じてディスクの摩擦力、カバーの圧着力を高めていくのがセオリーだ。



Disc&Cover

ディスク&カバー

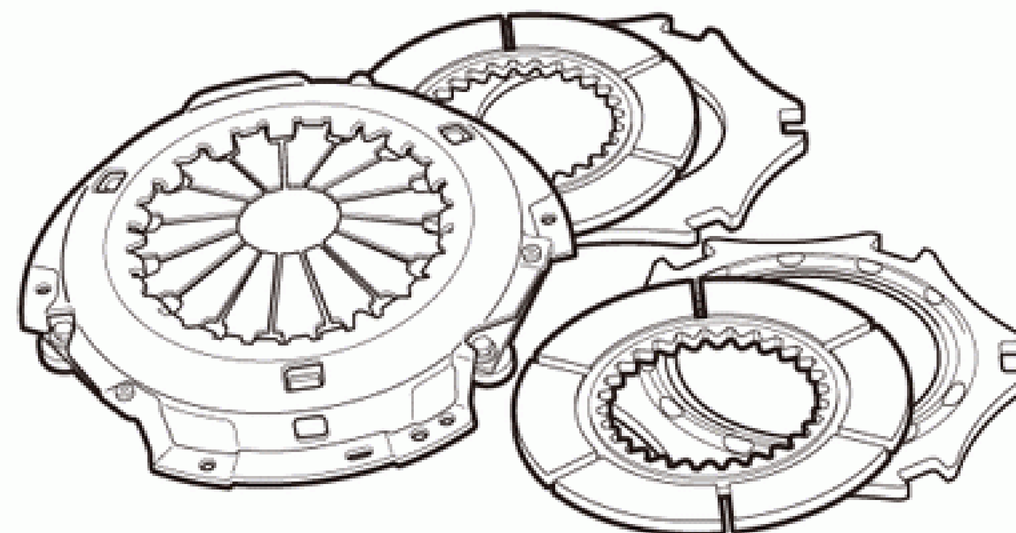
クラッチの強化でもっともオーソドックスな手法がディスクとカバーの強化タイプへの交換だ。クラッチディスクの摩擦力とクラッチカバーの圧着力を高めることで、確実にエンジンパワーをミッションに伝えることが可能になる。エンジンをパワーアップした際の必需品であり、スポーツ走行などでのハードなクラッチワークでもレスポンスに遅れを生じない点もメリット。なおディスクは摩擦係数が高く、耐摩耗性に優れるメタルタイプが主流になっている。

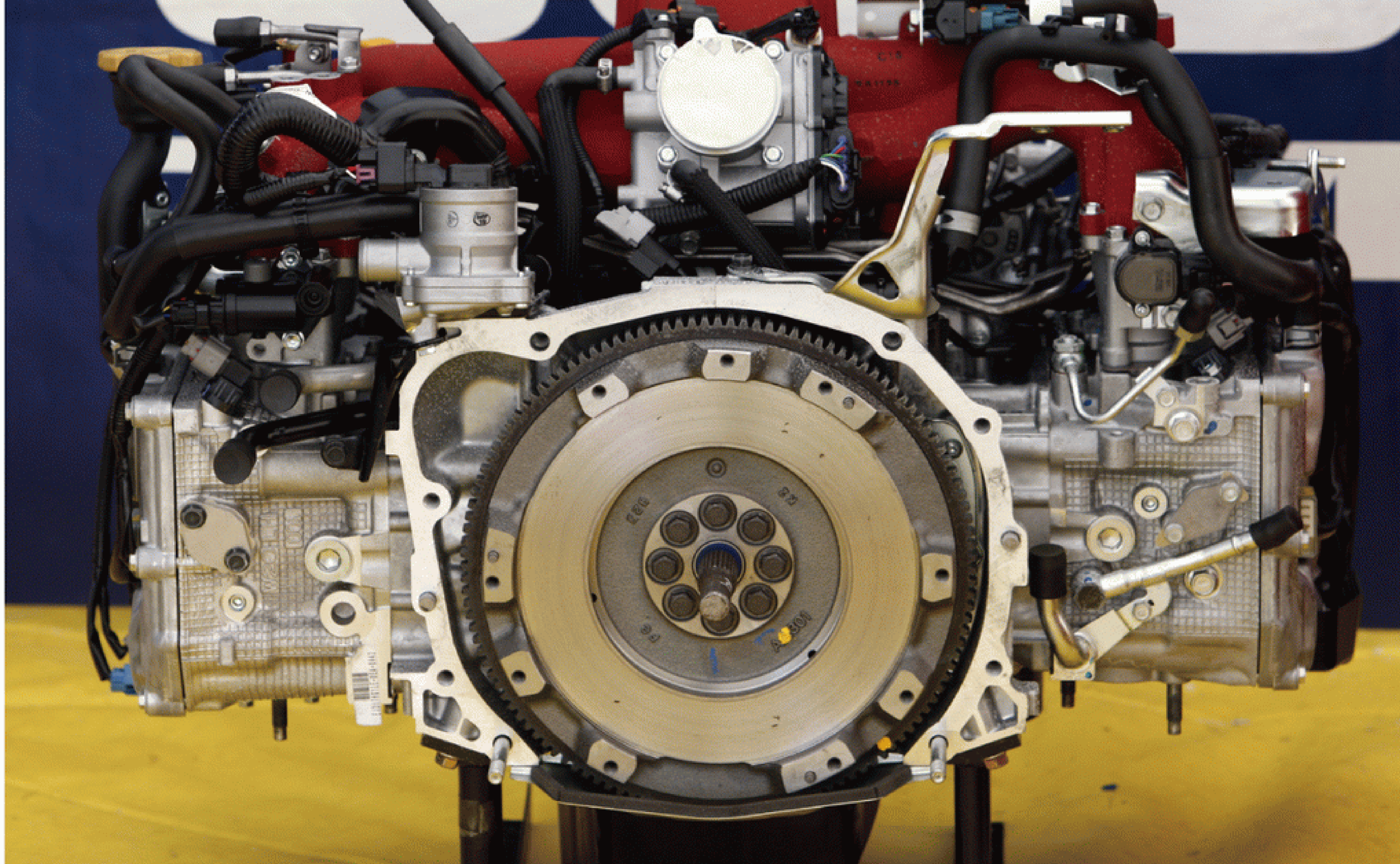


Multi plate

マルチプレート

通常のクラッチがシングルディスクなのに対し、複数のディスクを配置して摩擦面積を拡大したもの。より圧着力を高めてエンジンパワーの伝達効率を高めた強化クラッチで、ディスクが2枚のツインプレートから4枚のフォースプレートまである。ディスクの枚数に比例して摩擦力が増し、より高出力なエンジンに適応できる。レスポンスや耐久性も向上するが、反面、踏力が重くなったり、デリケートなクラッチミートが要求されるなど、操作面でのデメリットを生じやすい。





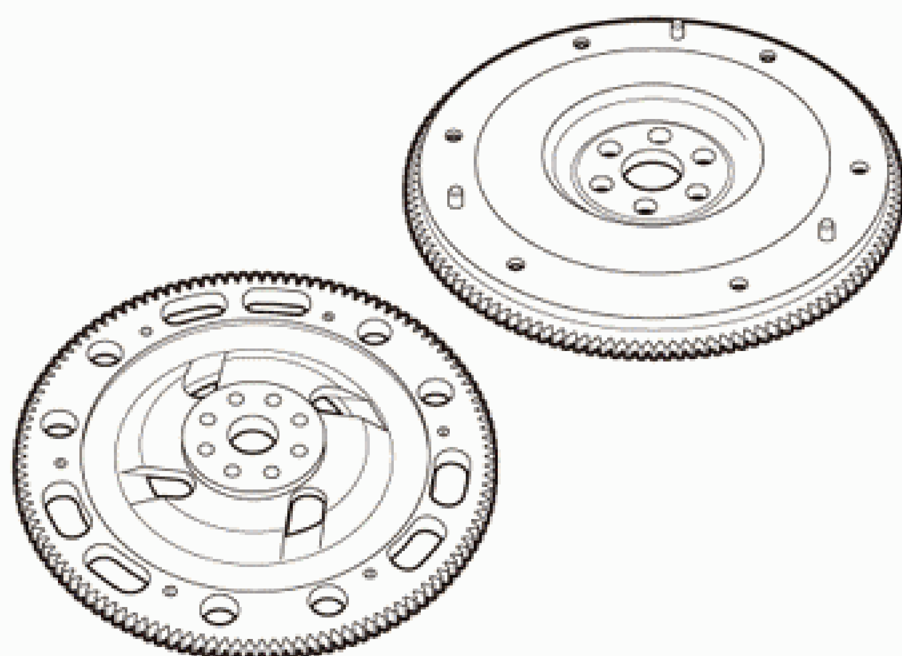
フライホイール&プロペラシャフト

エンジンの吹き上がりやレスポンス、また加速性能を向上させる手段として、駆動系の軽量化も大きな効果をもたらす。ただし極端に軽くしたフライホイールは、登坂路などで十分なエンジントルクを発生させにくくなり、それを補うためのチューニングも必要になる。

Lightweight flywheel

軽量フライホイール

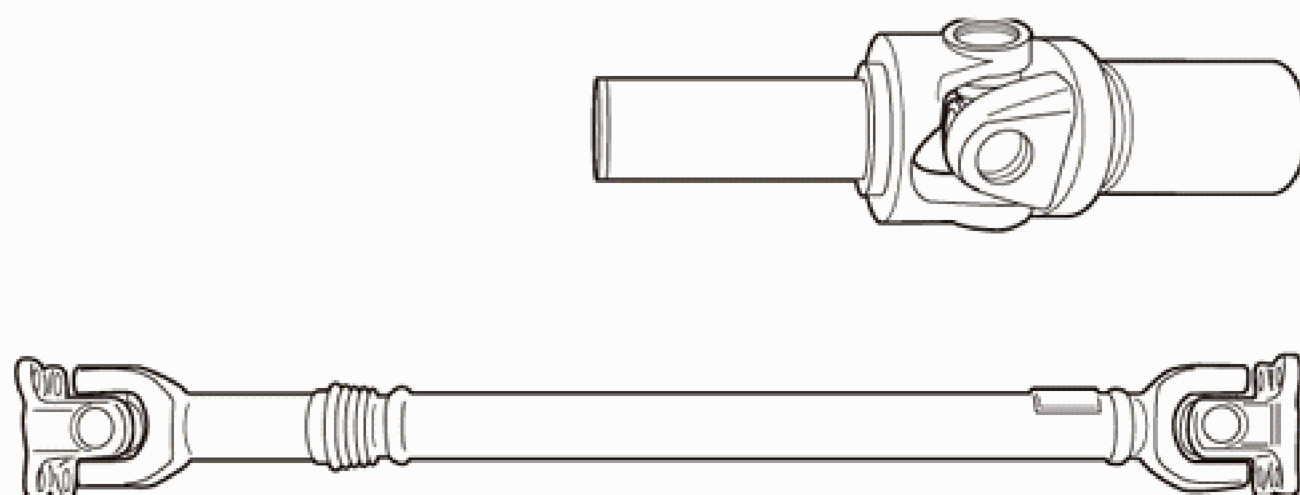
クランクシャフトの後端(クラッチの手前)に取り付けられたはずみ車をフライホイールと呼ぶ。エンジンの回転ムラを抑えるのが主な役割で、重くするほど回転は滑らかになる。しかしこの重さは速さを追求するうえではネガティブに作用するので軽量化が望ましい。スムーズな回転が損なわれ、エンジントルクも減少するが、引き換えにシャープな吹き上がりやレスポンスの向上などのメリットが期待できる。



Lightweight propeller shaft

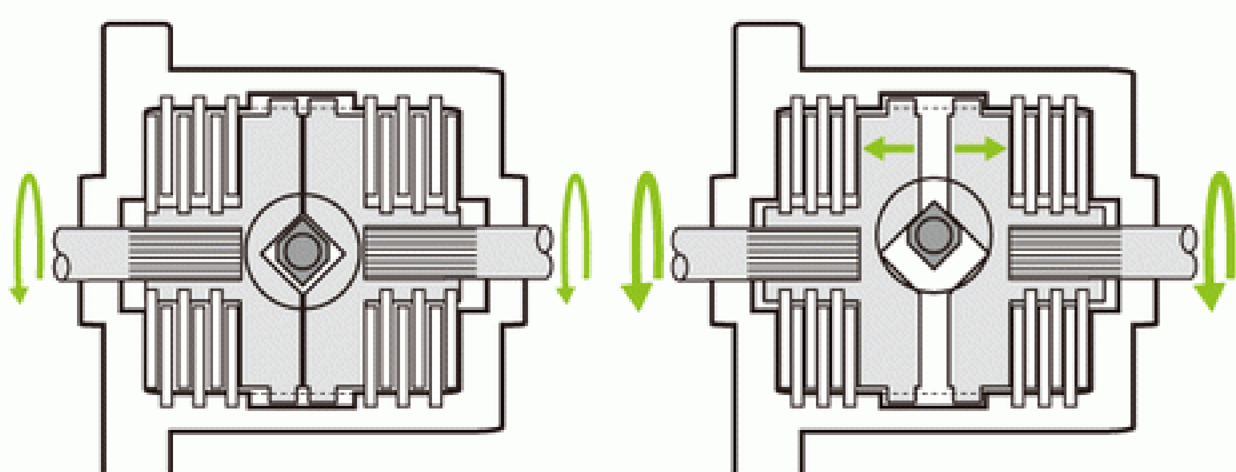
軽量プロペラシャフト

ミッションとデファレンシャルギアとの間に介在し、エンジンパワーを伝達するプロペラシャフトも、軽量化すればエンジンレスポンスや加速性能の向上といったメリットをもたらす。シャフトの材質には主にカーボンやFRP(強化プラスチック)が用いられることが多く、重さはノーマルに対して概ね半分となる。軽さもさることながら回転バランスの正確さも大事な要件だ。



動力を確実に路面に伝える。

もっとも大きな差動制限力を発揮する"機械式LSD"は、モータースポーツ用パーツとして専用品を後から装着するケースが多い。



リミテッドスリップデフ

速いコーナリングをめざす上で、エンジンパワーを確実に路面に伝達するリミテッドスリップデフ（LSD）は必需品といえ、数あるLSDの中でももっとも大きな差動制限効果を発揮するのが、多板クラッチの圧着力を利用した"機械式"と呼ばれるタイプ。その大きなメリットとして挙げられるのが、効きや効き始めるまでのレスポンスを自由に設定できる自由度の高さだ。つまり駆動レイアウトなどの車両特性やドライビングスタイル、あるいはコースレイアウトに応じて、最適なトラクションを得ることが可能になる。ただし大きな差動制限力を発揮する一方、内部パーツに加わる負荷も高いため、オイル交換やオーバーホールなど、定期的なメンテナンスが不可欠になる。

Lock ratio

ロック率

LSDの効きそのものを示す値がロック率。0%がノーマルデフで、100%が直結デフロック。値が高いほど差動制限効果が大きくなる。ただし単純に高ければいいというものではなく、駆動方式や車高、トレッドなどとも大きく関連する。目指す性格によって理想値は変動する。理想値以上にロック率を上げれば強い初期アンダーを示すなどコーナリング性能が著しくスポイルされてしまうだろう。一般的には50%前後のロック率が扱いやすく、十分なLSD効果を得られるとされているが、トライ&エラーを繰り返して最適値を導き出すことが望ましい。

Initial torque

イニシャルトルク

イニシャルトルクとはデフケース内のディスクを圧着させる圧力(与圧)のこと。これを高めたり低めたりすることでLSDがロックするまでの時間が変更できる。イニシャルを高めればアクセル操作に対する反応が速くなり、瞬時にLSDがロックする。低めれば穏やかにロックするので乗りやすくなる。チューニングではトルクを高めるのが基本だが、回頭性が損なわれたり、FF車ではトルクステアが強くなるなどデメリットも無視できない。ちなみに最近では低トルクでも高いLSD効果を発揮するものも増えている。

機械式LSDの種類

1WAY

アクセルONの時のみ作用するLSD。アクセルOFFの状態では作動しないため、ノーマルデフが持つ内輪差補正の機能を活用でき、コーナーアプローチがスムーズに行える。とくにアンダーステアの強いFF車に適しているが、アクセルのON/OFFでの挙動の違いが顕著に出る。

2WAY

アクセルON、アクセルOFFの両方で効果が得られるLSD。強めの初期アンダーを発生するが、減速時に安定した姿勢を維持できるため思い切ったコーナーアプローチが可能になる。レスポンスに優れ、積極的にアクセルを踏んで曲げることができる。

1.5WAY

1WAYと2WAY、両方の特性を合わせ持つLSD。加速方向でのLSD効果は保ったまま、減速方向の効きを抑え、コーナーアプローチでの曲がりやすさにも配慮。クセを感じさせない、オールマイティに使いこなせるLSDといえる。



BODY

CHAPTER 03 Tuning & Settings

ボディのシェイプアップ

軽く、高剛性なボディは走りの基本。
いくらエンジンをパワーアップしても、鈍重で軟弱なボディでは、
それを実際の速さに結びつけることは難しい。

高剛性／軽量化

運動性能を極限まで高めるために、必須といえるチューニングがボディの軽量化であり、高剛性化だ。軽量化は、加速性能の向上だけでなく、ブレーキングやコーナリングのレベルアップにも大きく寄与する。一方高剛性化は、大きな負荷が加わった際にもサスペンションを正確に動かし、タイヤの接地性を確保するために欠かせない。また限界域でドライバーが瞬時に車両の挙動を把握し、正確にコントロールする上でも、変形しにくい堅牢なボディは必要不可欠となる。ちなみに路面のμがきわめて低いうえ、横と縦両方から強烈なGが加わるニュルブルクリンクでは、確かなボディ剛性を持つ車両でなければ、1周として満足に走り切ることはできない。

Spot welding

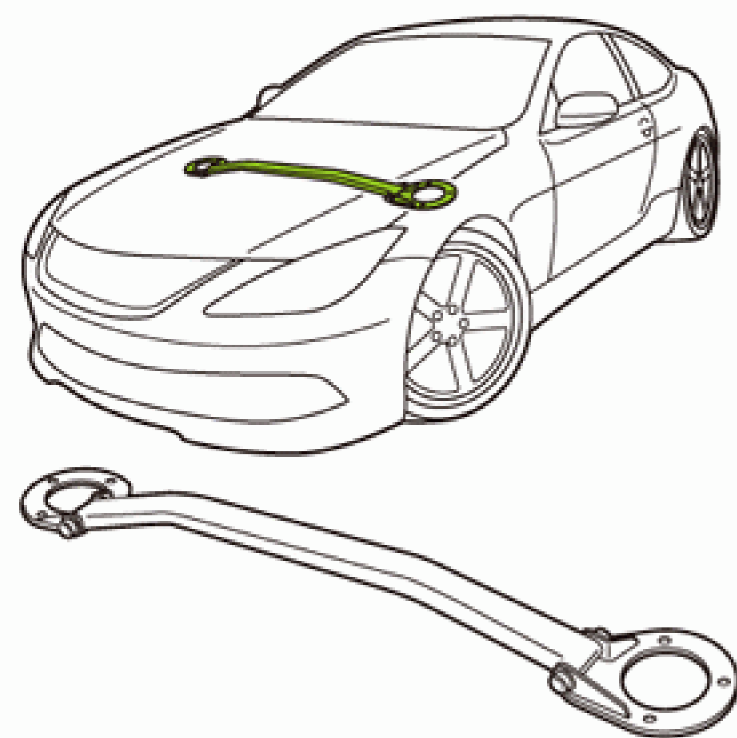
スポット溶接

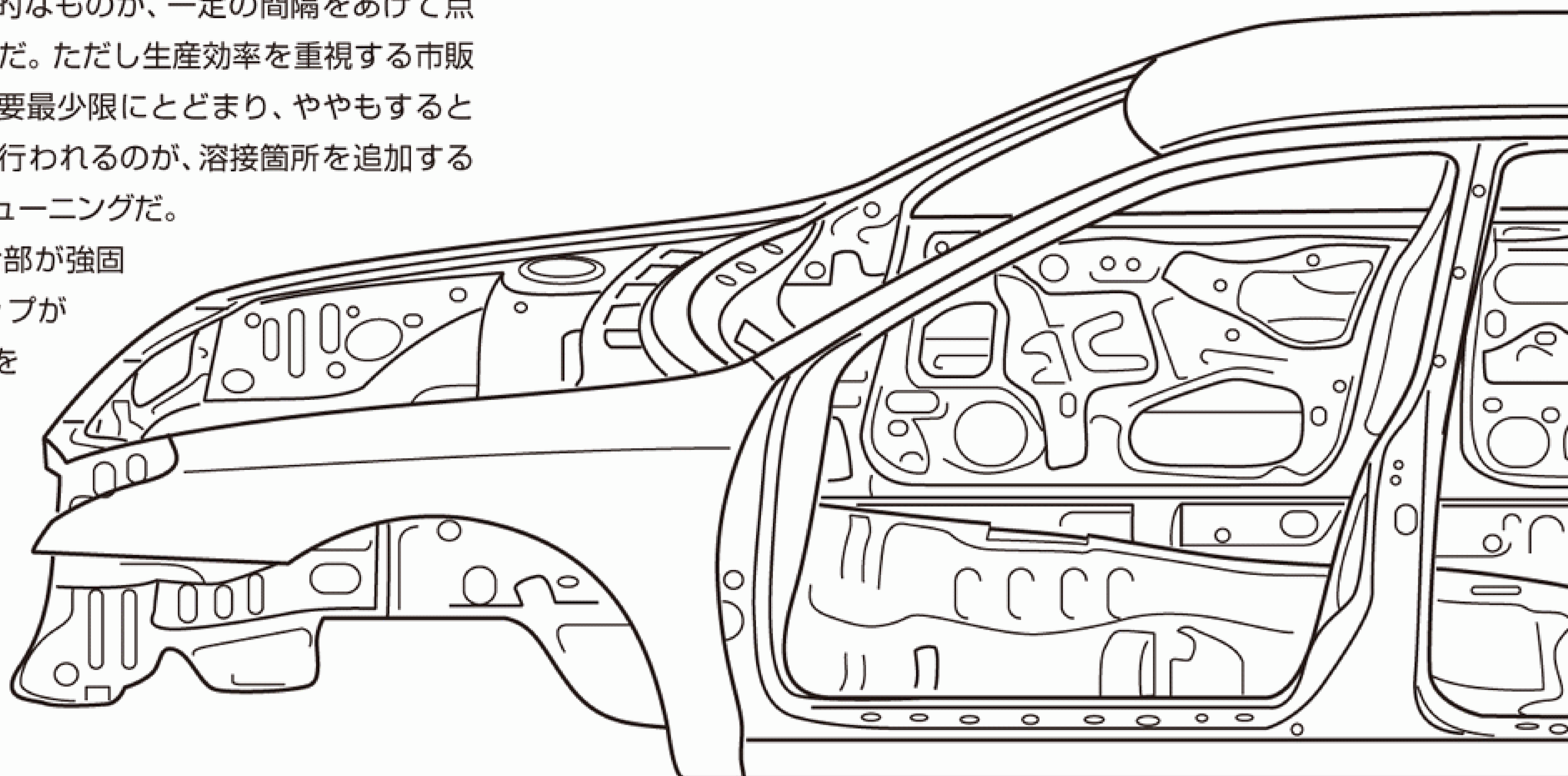
ボディはプレスされた金属パネルを張り合わせて作られるが、その接合方法の代表的なものが、一定の間隔をあけて点で溶接するスポット溶接だ。ただし生産効率を重視する市販車の場合、溶接箇所は必要最少限にとどまり、ややもすると剛性が不足する。そこで行われるのが、溶接箇所を追加する「スポット増し」と呼ぶチューニングだ。
ボディパネル同士の接合部が強固になって大幅な剛性アップが期待できる。新たに部品を追加せずに行えるため、重量増の心配がないというメリットもある。

Tower bar

タワーバー

サスペンションの車体取り付け部（タイヤハウス上部）の左右を連結する棒がストラットタワーバー。装着によってボディ前部の剛性が上がって、サスペンションが正確に動くようになり、ステアリング操作に対する反応もシャープになる。基本的にはダンパーやスプリング、ブッシュなどのサスペンションのチューニングと併せて装着すべきだ。フロントのみに装着されるケースが多いが、剛性バランスを考えれば前後装着が望ましい。



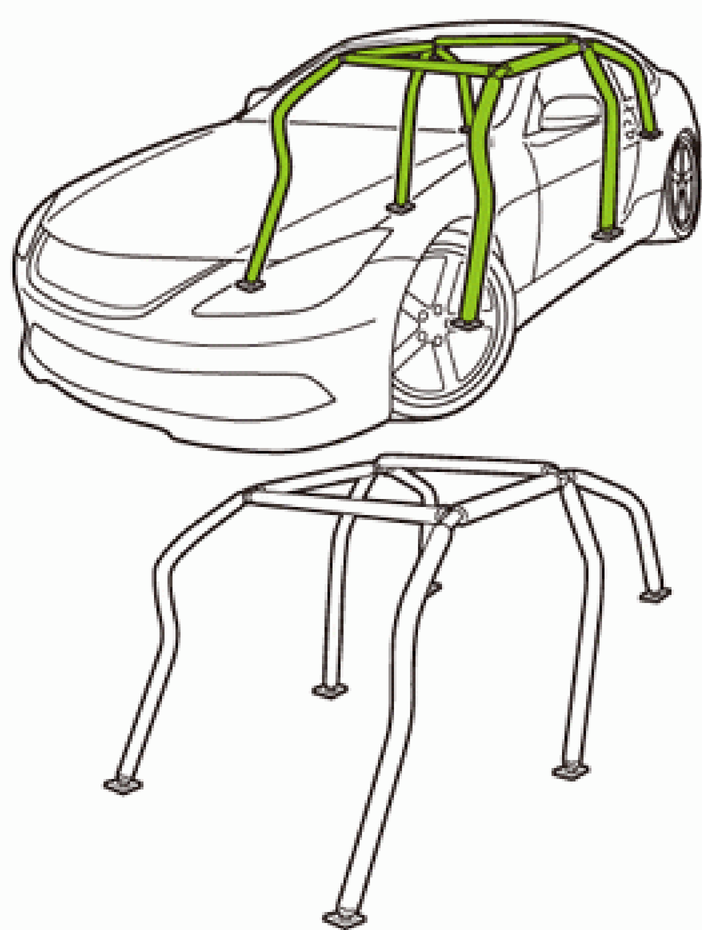


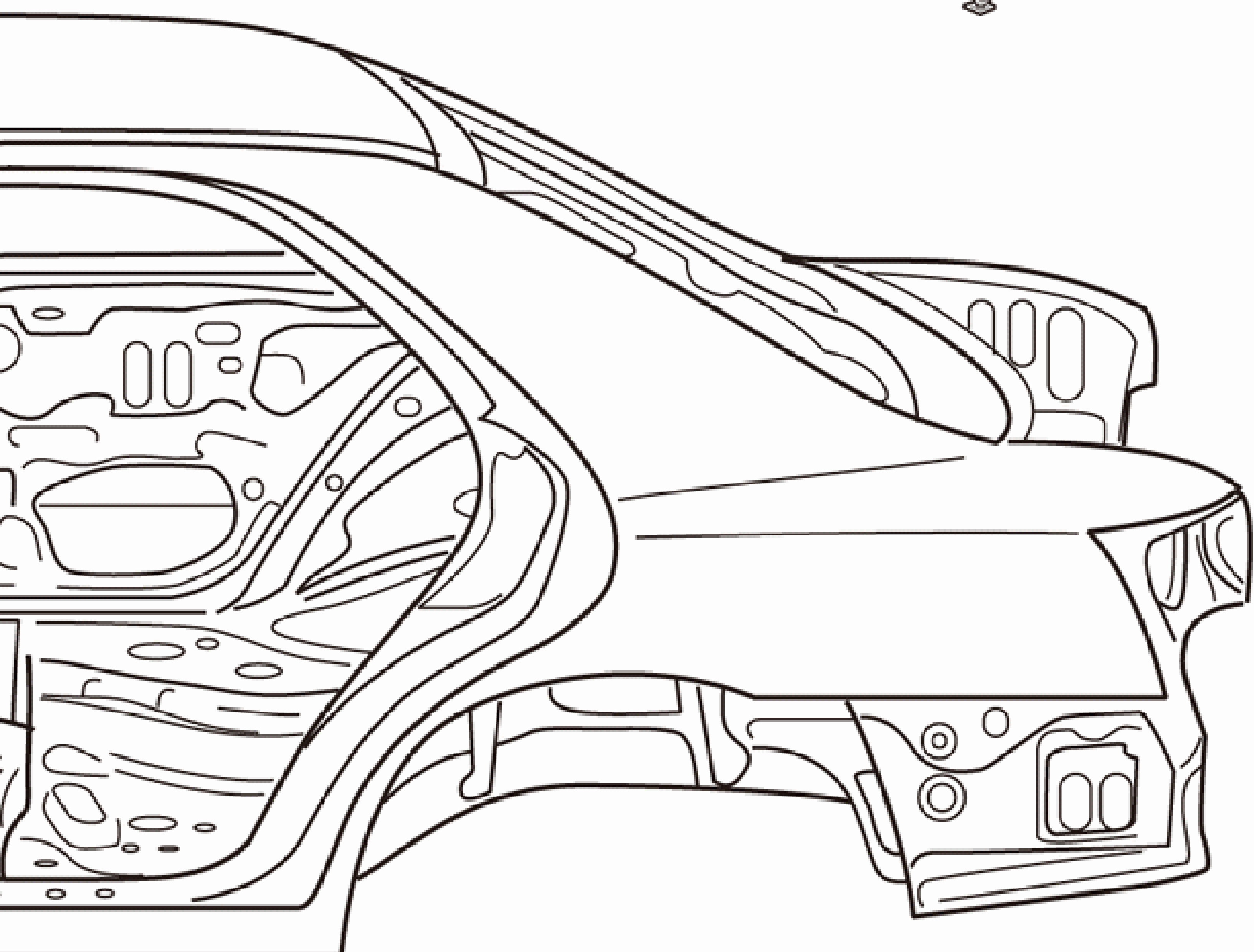
正確な操縦性を得る。

Roll cage

ロールケージ

本来はクラッシュして変形したボディから乗員を守るためのロールケージも、ボディ剛性を高めるうえできわめて有効に作用する。ただしケージはルーフやピラー部分との隙間がなく、しっかりとボディに這わせるタイプ、そしてボルト留めではなく、車内に確実に溶接されていることが条件だ。また可能な限り支持点数を増やし、ジャングルジムのように張り巡らせると剛性面での効果をより期待できる。

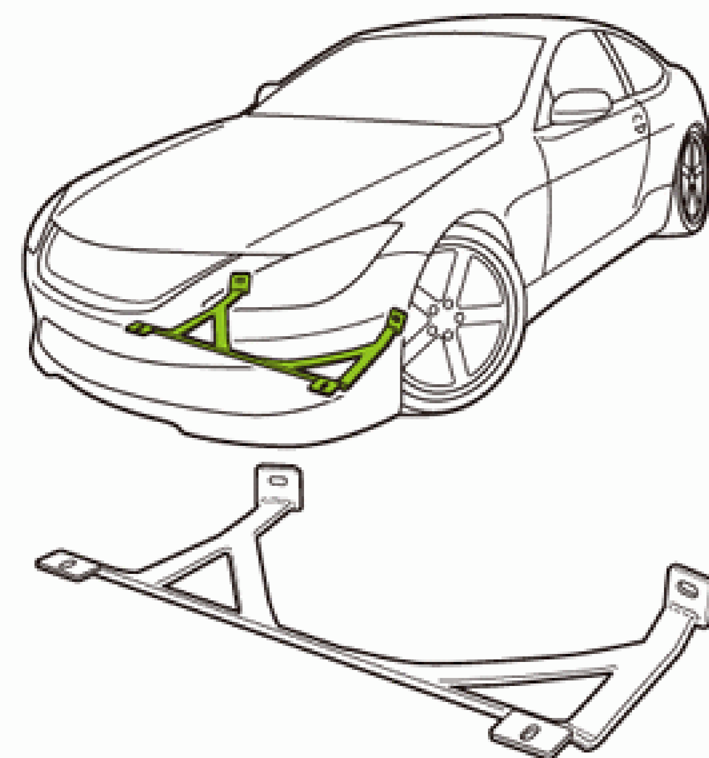




Member brace

メンバーブレース

曲げやねじれに強い金属製の棒、メンバーブレースはフロア下部の剛性を強化するのと同時に、サスペンションメンバーとアンダーボディをつなぐことで、メンバーの無駄な動きを制限し、サスペンション性能をフルに引き出すためのパーツだ。つまりストラットタワーバーがボンネット内からサスペンションとボディを支えるように、ボディ下部から支える仕組みなわけだ。タワーバーとの併用が効果的で挙動安定性がさらに増す。



Lightweighting

軽量化

加速／減速／旋回、すべての走行性能を高めるうえでもっとも効果的なチューニングが車体を軽くすること。エアコンなどの快適装備や遮音材を省く基本的なものから、ボディパネルなどの材質を軽量なアルミやカーボンに交換、究極ではボディシェル自体をカーボンに、フレームもアルミ製に代えるなどレベルに応じてさまざまな手法が用いられる。ただしバランスよく走行性能を高めるためには軽量化は高剛性化と同時進行であるべき。また重心高（＝低重心化）も考慮して車体上部をメインに軽量化を進めていくのが効果的かつ効率的といえる。

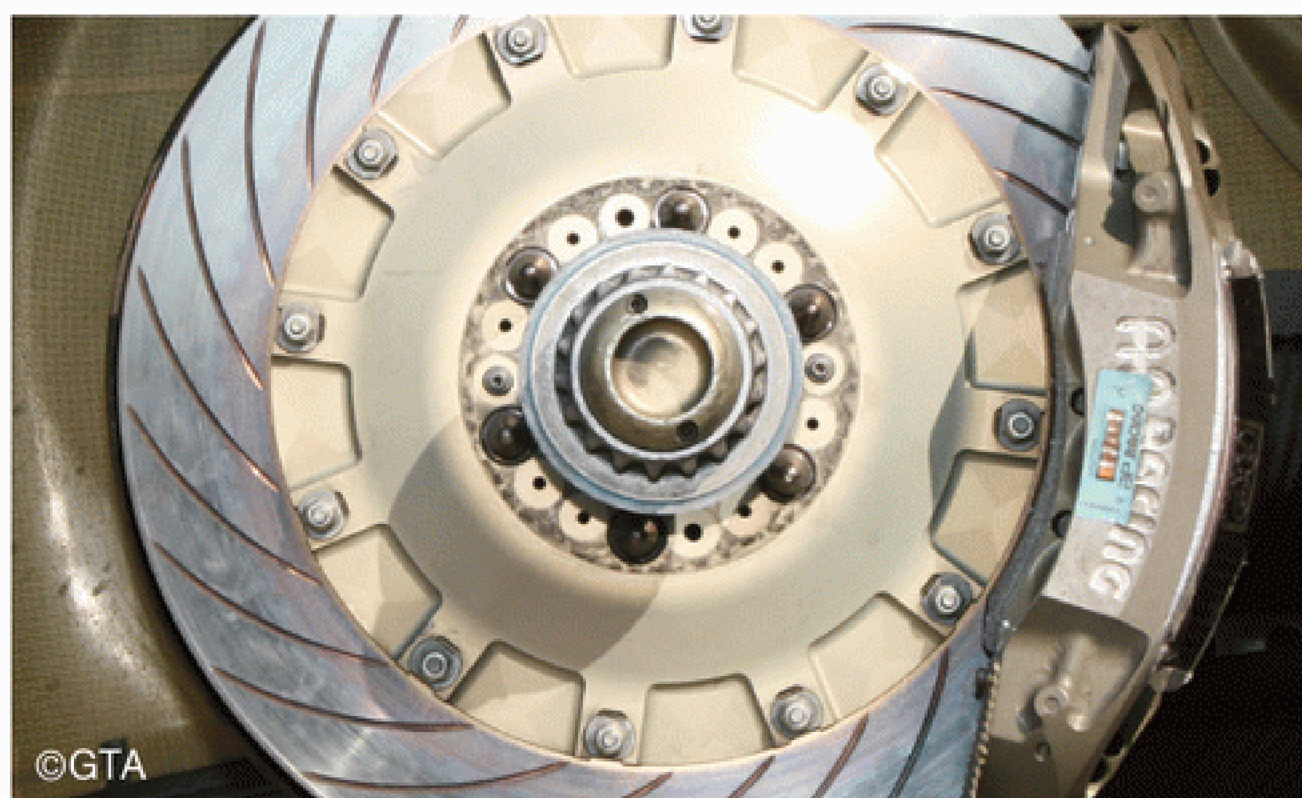
BRAKE

ストッピングパワーの増強

**パワーアップと同時に考えるべきブレーキチューン。
安心してアクセルが踏めるのもストッピングパワーがあってこそ。
制動力の強化だけでなく、熱対策にも万全を期したい。**

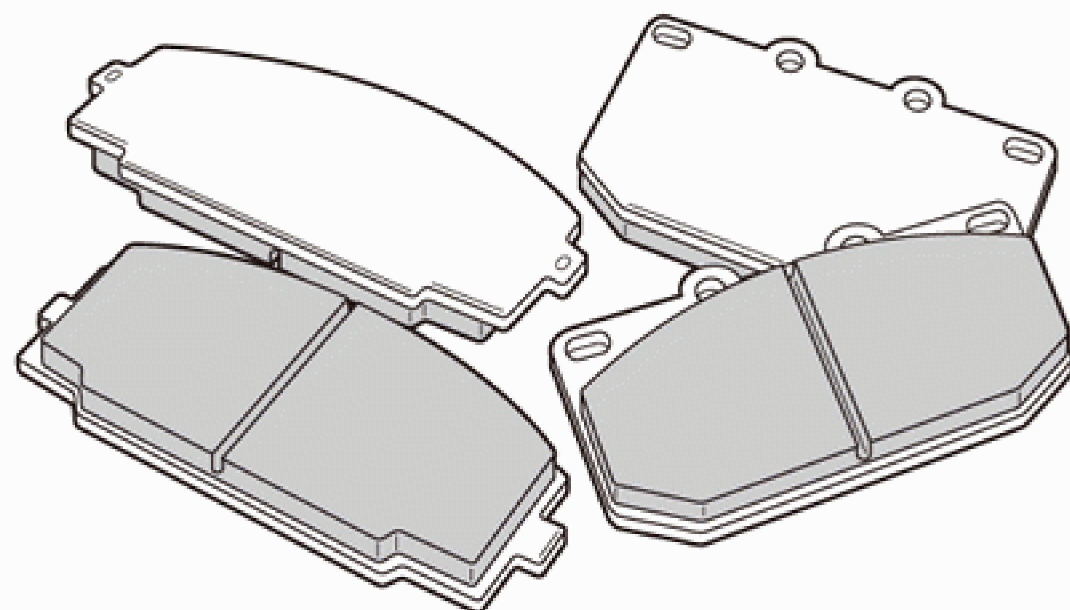
制動力／耐フェード性強化

エンジンチューンによって、絶対スピードが高まった車両では、より強力な制動力と、高い耐フェード性能が求められる。ベーシックなところではパッドの交換があり、究極レベルでは、ブレーキシステム自体を大容量の競技車用に交換するなど、レベルに応じたさまざまなメニューが考えられる。ただし競技車用が必ずしもすべての用途で完璧な性能を発揮するとは限らず、目的に応じたパーツ選択が必要になる。またディスクやキャリパーのサイズアップはバネ下重量の増加を招き、運動性を阻害する。ブレーキ性能はエンジンパワーを上回っていることが鉄則だが、たとえば軽量な車両に極端に大容量のシステムを装着しても明らかなオーバークオリティで、走行バランスを崩しかねない。


©GTA

Pad パッド

ブレーキチューニングにおけるもっとも基本的なパーツで、かつ制動力や耐フェード性を大きく左右する。ストリート用から競技用まで選択の幅は広いが、それぞれで適正温度（最大の制動力を発揮する温度）や耐熱温度などが異なり、目的に合ったものを選ばないと期待した効果が得られず走りに悪影響をおよぼす。当然ながらノーマルと比較して摩耗は速くディスクへの攻撃性も高い。制動バランスを保つために前後セットの交換が基本とされている。



Fluid フルード

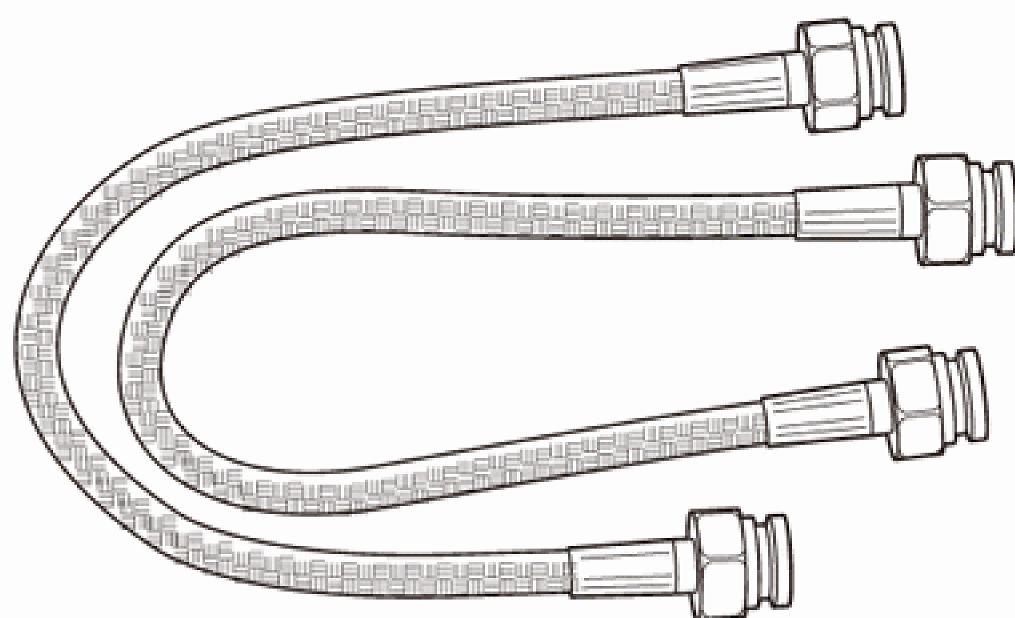
油圧式ブレーキで用いられる作動液。レース用は、ベーパーロック現象を防ぐため200℃以上になっても沸騰しない特性を持つが、その一方吸湿性が非常に高く、劣化しやすい特性も持つ。DOT＝ドットと呼ぶグレードが上がるに従って沸点が上がるが、同時に湿気を吸って劣化しやすくなるわけだ（沸点が下がる）。従ってレース専用のDOT5を用いる際は短いサイクルでの交換が必須となる。ちなみにDOT数を上げても制動力自体が上がるわけではないので注意しよう。

ブレーキの
グレードアップを図る。

Hoos

ホース

フルードの通り道であるホースはノーマルだとゴム製。このため、ハードブレーキングで油圧が高まると膨張してペダルタッチを曖昧にする。これを解消するのがステンレスメッシュと呼ばれるブレーキホースだ。テフロンホースをメッシュ状のステンレスで被い、ゴムと同等の柔軟性を持たせながら膨張を防いでいる。競技車両では常識的に採用されている強化パーツで、常にダイレクトで正確なペダルタッチがもたらされる。





Disc

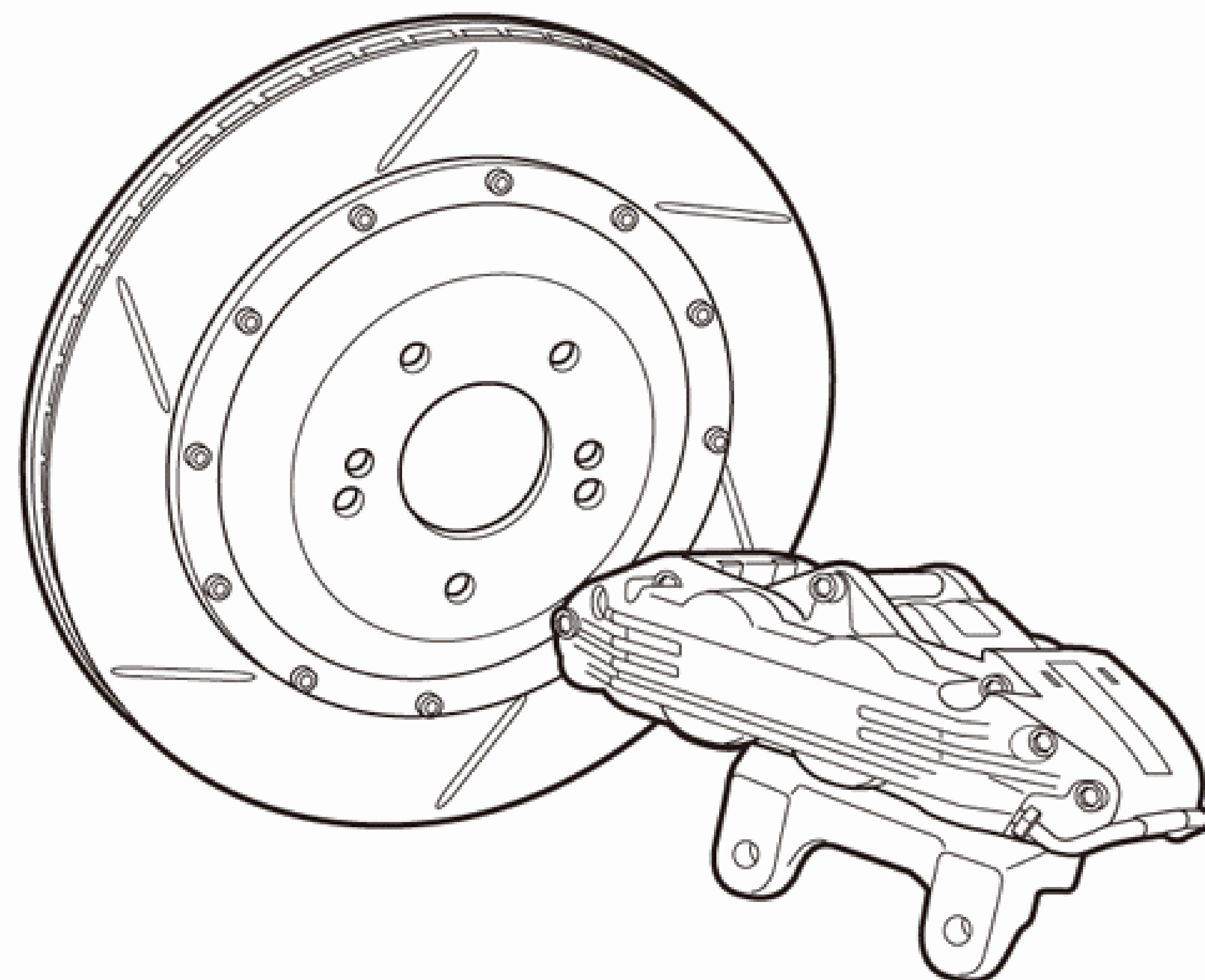
ディスク

制動力を高める手段としてもっとも効果的なのがブレーキ容量のアップだ。すなわちディスクを大径化し、より大きな摩擦熱を発生させる。しかし鋳鉄製の大径ディスクは同時にバネ下重量の増大を招いて走行性能を低下させる。そのため最近ではセラミックやカーボンなどを主な素材とした軽量なディスクも出回り始めている。なおディスクは使用にともなって摩耗する消耗パーツで、本来の制動力を得るためには定期的な交換、もしくは研磨が求められる。

Caliper

キャリパー

キャリパー本体のチューニングとしては、システム本体をグレードアップしてしまう手法がある。ブレーキパッドを確実にディスクに押し付けるという意味で、パッドを両側から押し出す対向ピストンタイプへの交換が一般的だ。また市販車でも6ピストンのものが多く採用されていることからもわかるように、ピストンの数は多くなるほどパッドへの面圧を均一にすることが可能で、結果、制動力をアップできる。さらに対向ピストンタイプの場合、キャリパー本体が一体成型となり、車軸部分に固定されたまま動かないため、キャリパー自体の剛性が高く、ハードな使用でも安定したブレーキングが得られる点もメリットとなっている。



SUSPENSION

CHAPTER 03 Tuning & Settings

フットワークの強化

ハードな走りで挙動を安定化させ、確かな操縦性をもたらす
フットワークの強化はチューニングの要。
車両特性を一変させるほど大きな効果をもたらす。

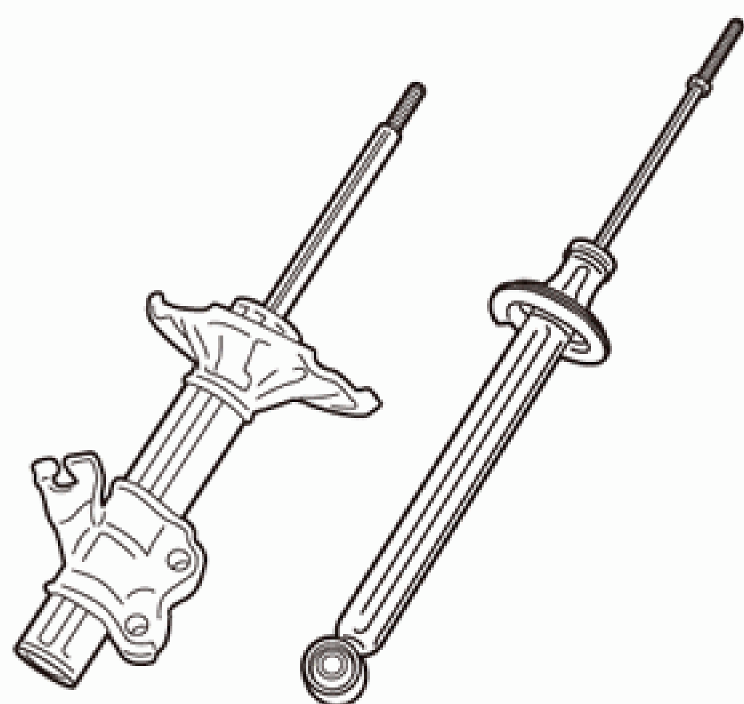
ハンドリング特性変更

スポーツドライビングにおけるサスペンションチューニングとは、乗り心地といった要素をある程度犠牲にして、速さを追求することだ。サーキットのようなフラットな路面に限れば、車高は低いほど重心が下がり挙動が安定する。サスペンションも硬いほど加速・減速・旋回時の無駄な動きがなくなり操縦性がシャープになる。もっとも実際には、サスペンションがまったく機能しないと荷重移動が発生せず、ドライバビリティは極めて悪いものとなる。荷重移動を活用できる範囲で前後左右のバランスも考えながら固めるというのが正解といえよう。また車両特性や路面状況などによっては、タイヤのグリップを高める目的で、あえて柔らかくすることもサスペンションチューニングであることも覚えておこう。

Damper

ダンパー

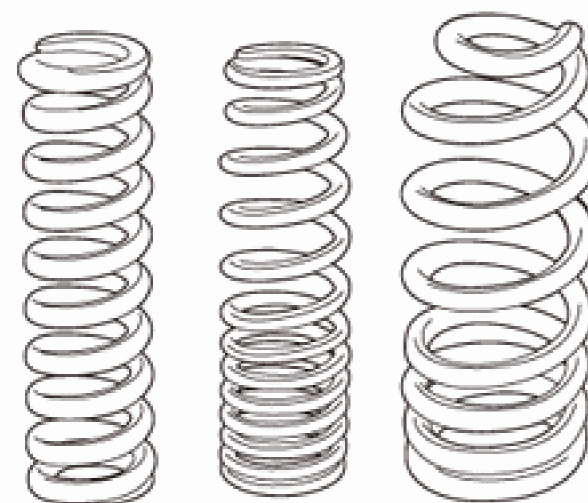
乗り心地を重視したノーマルよりも高い減衰力を与えることで、大きな負荷のかかるハイスピード走行でも挙動の安定性を保ち、操縦性を高めるのが目的。交換・チューニングはスプリングと同時に行うのがセオリーだ。



Spring

スプリング

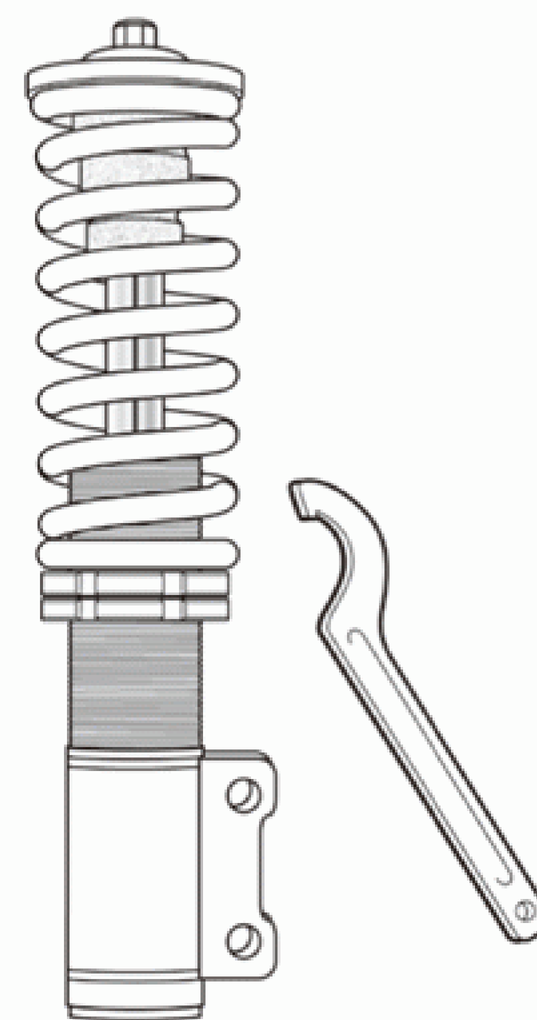
基本的な運動性能を高める低重心化のほか、コーナリング中のロール、ブレーキング時のノーズダイブ、あるいは発進・加速時のスクウォート（沈み込み）を抑え、挙動を安定させるために欠かせないパーツ。



Height adjust suspension

車高調整式サスペンション

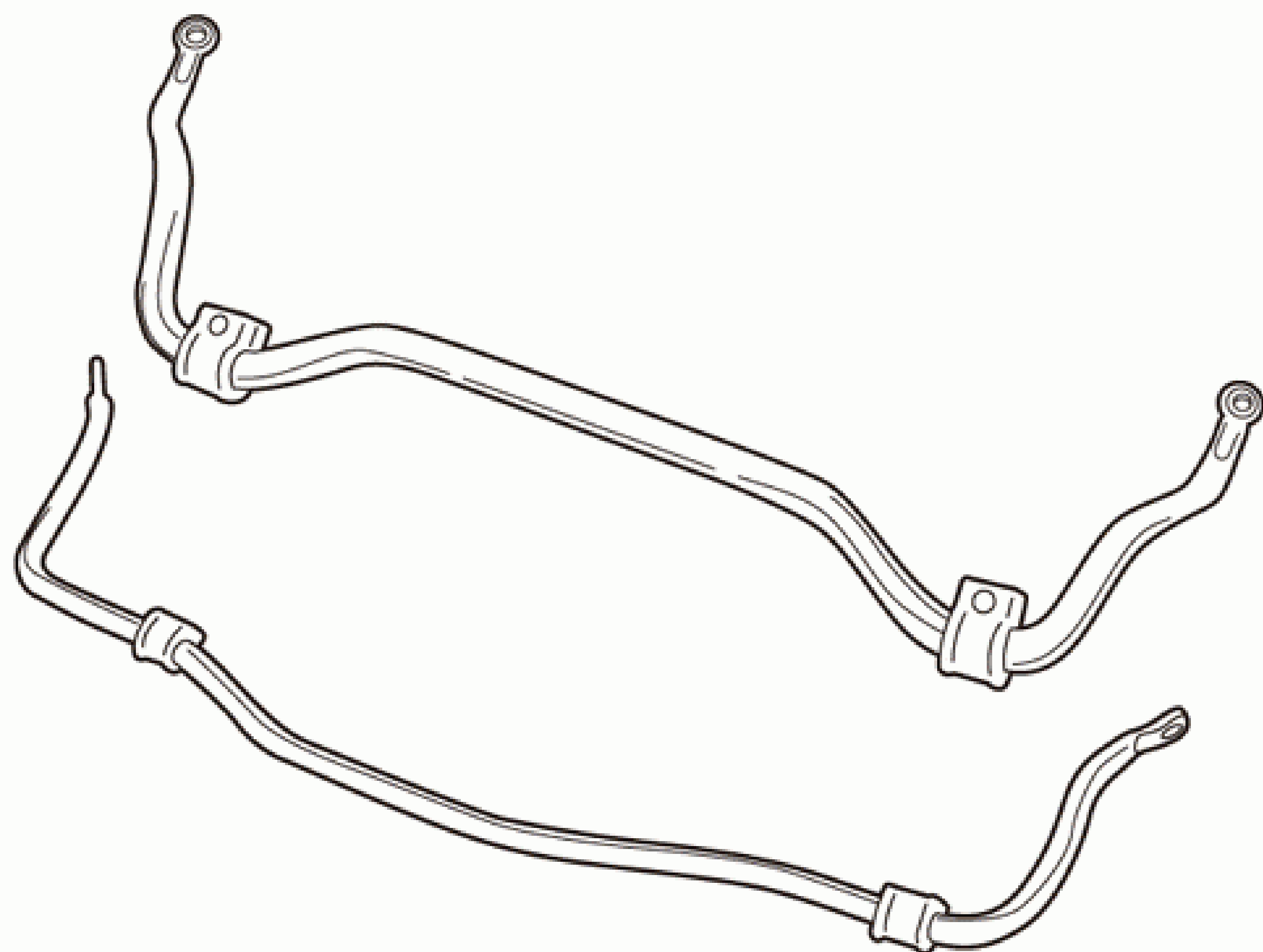
スプリング長を任意に伸縮させる車高調整機能を備えたダンパーで、同時に減衰力調整も可能なタイプが主流。その組み合わせは幅広く、走りのシチュエーションに合わせてキメ細かく対応させることができる。車高の調整方法はネジ式、Cリング式、ブラケット式などがある。



意のままの
操縦性を手にする。

Stabilizer
スタビライザー

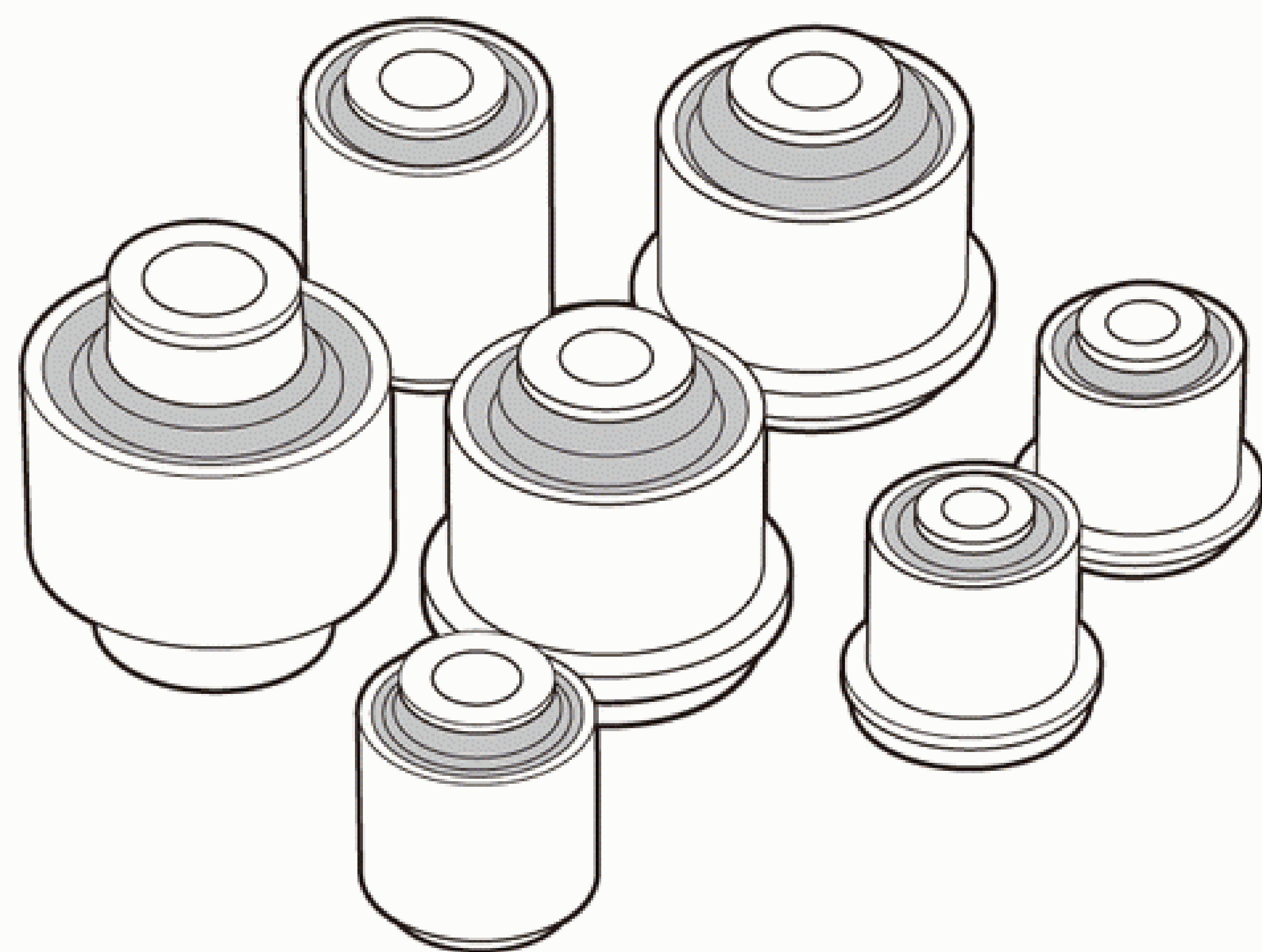
レートを高めることで、スタビライザー本来のコーナリング中のロールを抑える効果をさらに向上させることが可能となる。またフロントのレートが高ければアンダーステア、リアが高ければオーバーステアの傾向を示す。





Bush
ブッシュ

ダンパーやサスペンションリンクなどのボディ取り付け箇所や、各々のリンクの連結部に介在する緩衝材（ブッシュ）を強化することで、サスペンションの無駄な動きを抑え、リニアな操舵反応や操縦性を得ることができる。ブッシュの材質は主にゴムやウレタンなどの樹脂で、可動部分に金属球を用いた通称“ピロボール”もある。



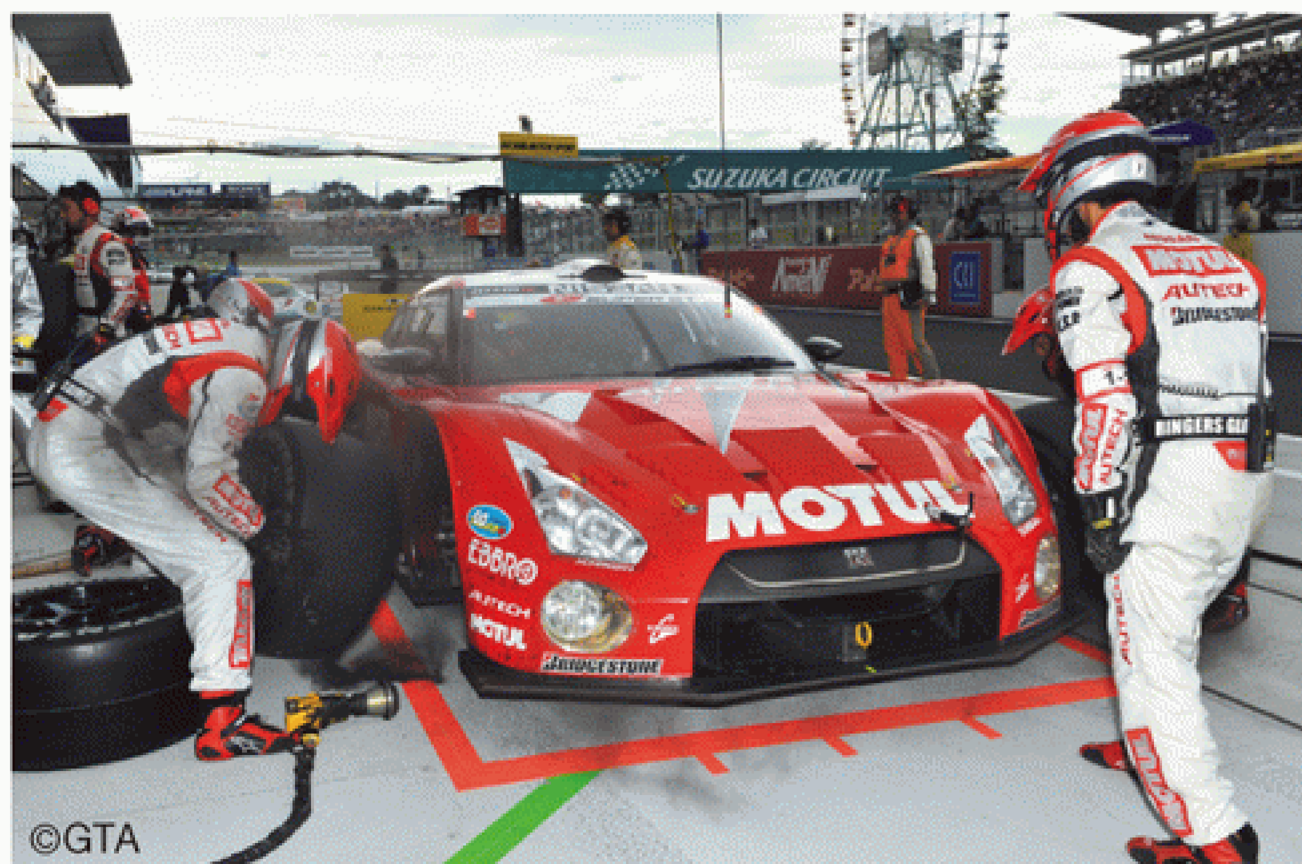
TIRES

CHAPTER 03 Tuning & Settings

Tires

タイヤのハイパフォーマンス化

ハイパフォーマンスタイヤはグリップが高い反面、限界を超えた際のコントロールは困難を極める“両刃の剣”。車両特性やパワーとのバランスを考慮した選択も必須。

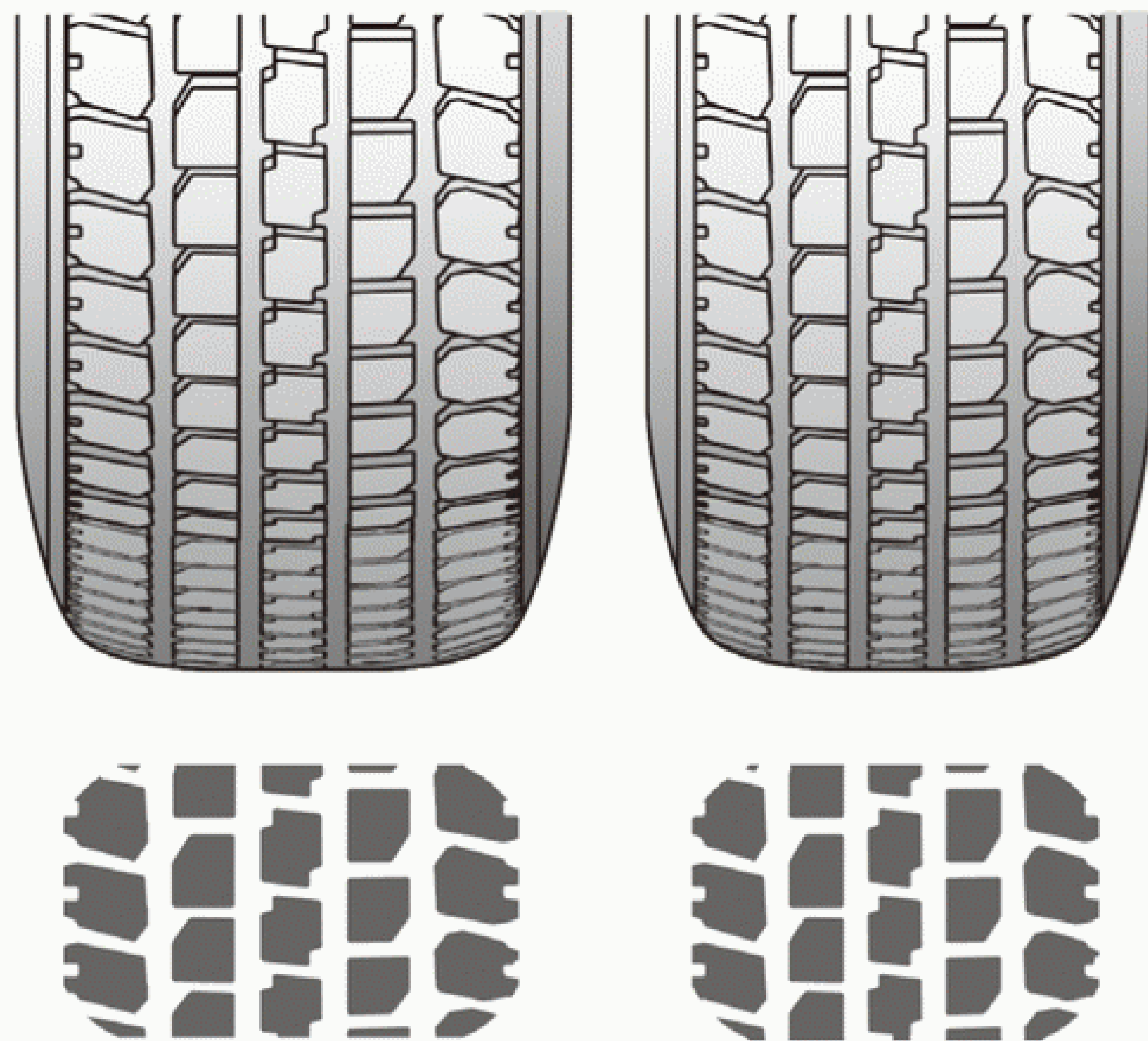


©GTA

Width up

幅広化

タイヤ幅を広げ、接地面積を拡大すれば必然的にグリップ性能は向上する。しかしタイヤのグリップ力は路面との摩擦だけでなく、タイヤに加わる荷重によっても大きく変化する。たとえば車重の軽いクルマに極端に幅の広いタイヤを装着した場合、十分に荷重がかからず、高いグリップ力を得られないことも珍しくない。一方アンダーパワーのクルマにオーバーサイズのタイヤを装着した場合は、タイヤのグリップ力にパワーが食われ、むしろ遅くなることが多い。車重や出力とのバランスを考えたうえでのサイズ選択が重要なのだ。



グリップ／剛性アップ

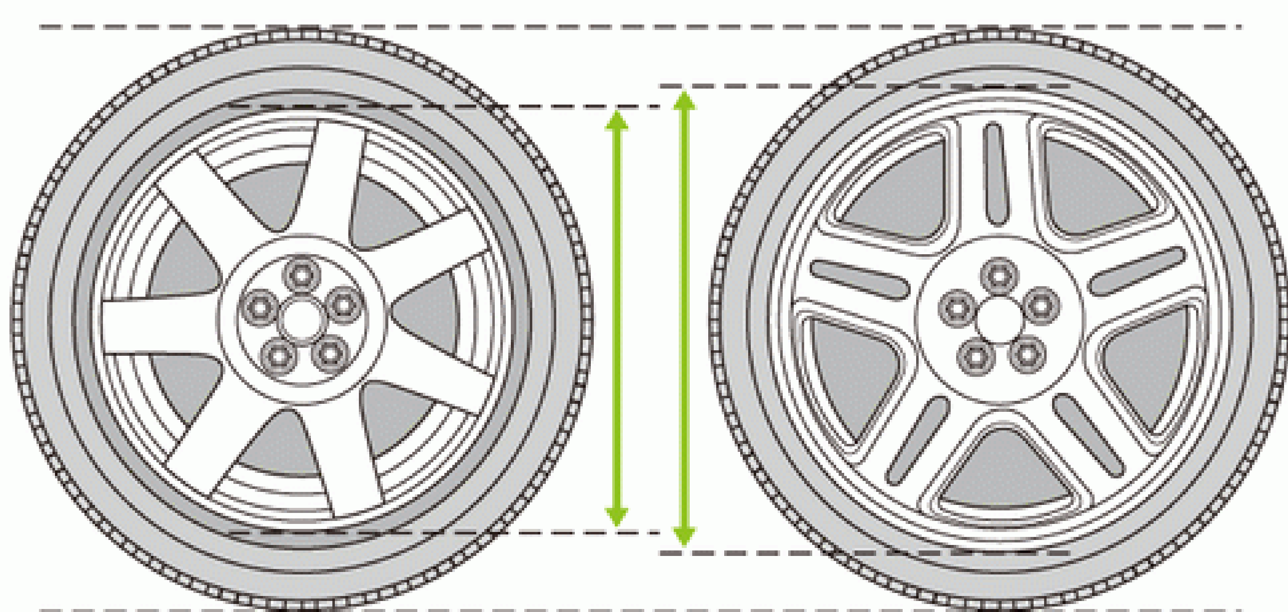
ハイパフォーマンスタイヤに求められる重要な要素として、グリップと剛性がある。それを極限まで追求したのがレース専用のスリックタイヤで、接地面のコンパウンドと呼ぶゴムは摩擦熱で溶けて路面に密着する。接地面の剛性を確保するため溝はひとつも存在しない。この考え方は公道用でも同様のことがいえ、高性能を謳うタイヤは例外なくソフトなコンパウンドを用い、溝の浅い大きなトレッドパターンを持つ。しかしウエット路面で排水性を確保するためには溝は不可欠であり、深く多いほど有利。ドライ性能とウエット性能、相反する性能をいかに高い次元でバランスさせるかが大きな課題となっている。

路面を確実に捉える。

Inch up

インチアップ

インチアップとはタイヤの偏平率（タイヤの幅に対して高さが何％になるかを示すもの）を低めることで、外径を変えることなくホイールのサイズアップを図るための手段だ。必ずしも横幅を広くすることを意味しない。主なメリットとしては、サイドウォールの幅（高さ）が薄くなることでコーナリングやブレーキング時のタイヤのたわみが減少する。つまり剛性アップによる操舵レスポンスや操縦性の向上が挙げられる。ただし極端なインチアップはホイールの大径化によるバネ下重量の増加を招き、運動性能を著しくスポイルする原因にもなる。ちなみに競技車両におけるインチアップの本来の目的は、ホイール径を拡大して大容量のブレーキシステムを収めることにある。



Compound

コンパウンド

タイヤの接地部分に用いられているゴムのことをコンパウンドと呼び、絶対的なグリップ性能を決定付けている。グリップ性能が重視されるハイパフォーマンスタイヤは路面に密着しやすいソフトなコンパウンドを用い、とくにレース用のタイヤでは路面との摩擦熱によって表面が溶け、その粘着力を利して路面を執拗に捉える。ただしソフトコンパウンドは高いグリップ力を発生する反面、摩耗が早く、ハードコンパウンドはその逆の特性を持つ。こうした基本特性を理解したうえでの使い分けが必要だ。またゴムは経時変化で硬化し、グリップ性能は新品状態から徐々に低下する。ソフトなコンパウンドほどその傾向は高くなる。

Groove

グルーブ

接地面に刻まれている溝をグルーブと呼び、ウェットでの路面の水を排水して、接地面と路面のグリップ力を維持する役割を持つ。一方ドライ路面では、グルーブはコーナリングやブレーキング、あるいは加速でタイヤに大きな荷重が加わった際、接地面にヨレを生じるなどデメリットしかもたらさない。それを端的に示しているのがサーキット専用のスリックタイヤで、溝は1つも存在しない。走行会やサンデーレースで使われるセミレーシングタイヤも接地面の剛性を確保する目的で、ごく浅く、最少限のグルーブを刻んでいるにすぎない。

AERO PARTS

CHAPTER 03 Tuning & Settings

空力性能のアップ

高速域での走行性能を高める目的で、エアロチューンは必要不可欠。
反面、誤ったチューニングは逆にデメリットしか生まない。
本来の効果を得るには、きわめてデリケートな調律が求められる。

走行風をいなし、利用する。

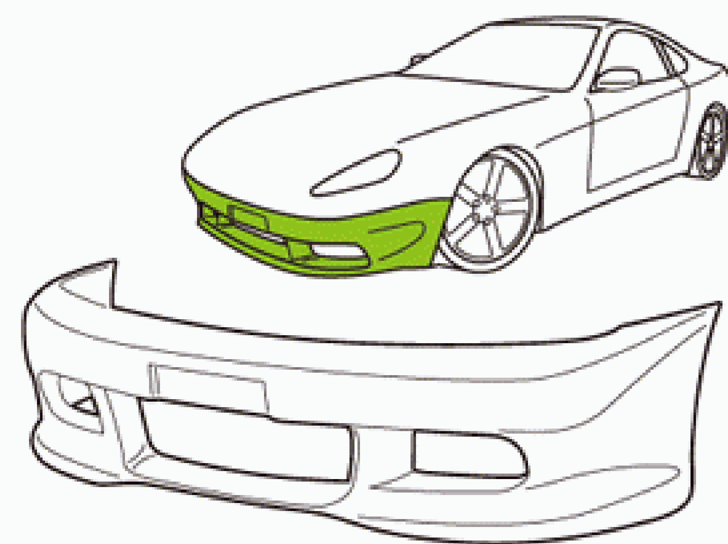
エアロチューン

一般的にドレスアップを目的に装着されることが多いエアロパーツも、本格的なチューニングマシンでは非常に重要な機能を果たす。高速域で車速の伸びを鈍らせる空気抵抗と、ボディを浮き上がらせようとする揚力を低減させ、走行性能を高めるのが主たる目的だ。とりわけエアロパーツで発生させる車体を下方向に押さえつける力（ダウンフォース）は、挙動安定性を高めるとともにタイヤのグリップ性能を引き出すために不可欠で、操縦性の向上に大きく貢献する。ただしエアロチューンはサスペンションも含めた全体のバランスを取ることが重要で、不適切なチューニングによって逆に走行性能を悪化させることも珍しくない。

Front spoiler

フロントスポイラー

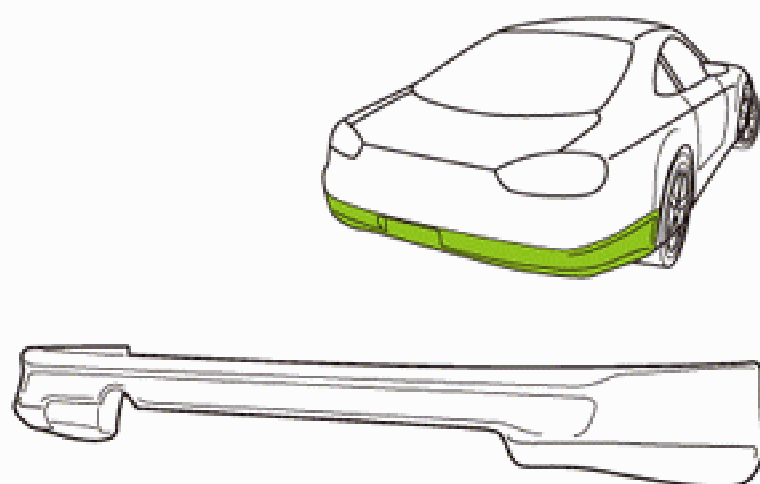
ボディ下面への空気の流入を抑制し、揚力を低減するのが目的。ただし、きわめてまれなケースとはいえ、十分な整形が行われていないパーツを装着し、かつ最低地上高を下げて低重心化を図った車両では、加圧された気流が狭められたボディ下部に次々に侵入し、本来の狙いとは逆にフロントに揚力を発生。最悪、コントロールを失うこともある。



©GTA

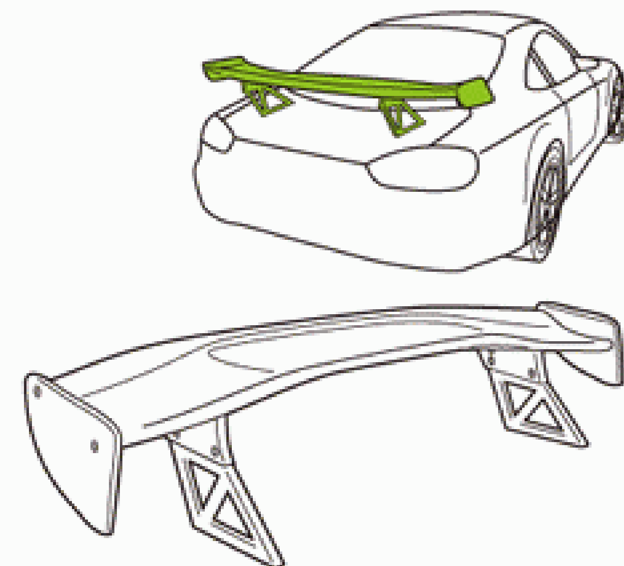
Rear spoiler
リアスポイラー

リアバンパー形状の最適化を図り、後方にできる渦の発生を抑え、スムーズに気流を受け流すためのエアロパーツ。リアバンパーと一体式になったものとリアバンパー下部に装着するものがあり、一般的に前者は「リアバンパースポイラー」、後者は「リアアンダースポイラー」や「リアスカート」などと呼ばれる。



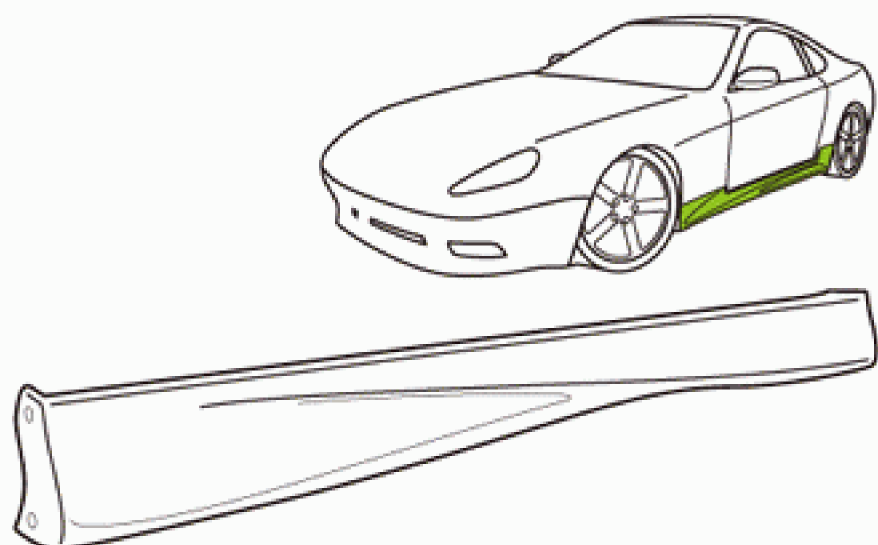
Rear wing spoiler
リアウイングスポイラー

ボディ後方の上部に装着し、気流をスムーズに受け流す整流効果とともに、後方に発生する渦を抑える効果をもたらす。揚力を生む飛行機の主翼を逆にしたスポイラー形状は、大きなサイズになると強いダウンフォースを発生、リアタイヤのグリップ力を高める効果が期待できる。



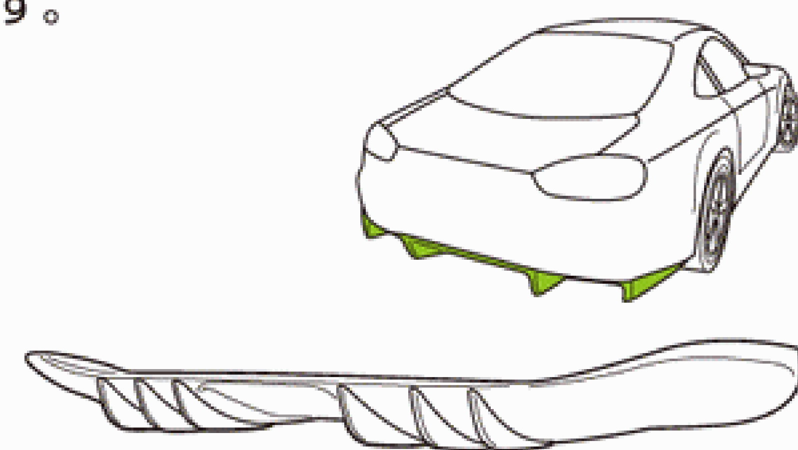
Side spoiler
サイドスポイラー

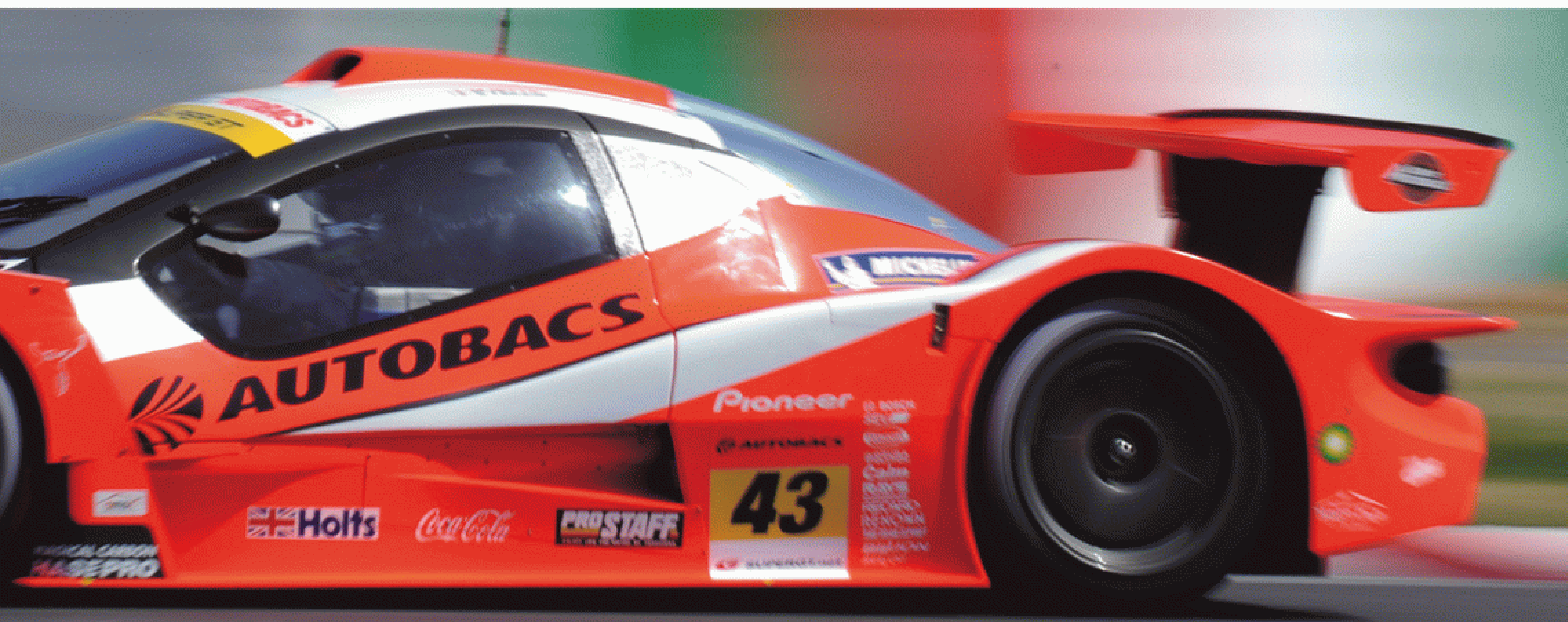
サイドスカート、サイドステップなどとも呼び、ボディの両サイド下部（サイドシル付近）に装着し、車体の横に起きる空気抵抗を低減する効果がある。



Rear diffuser
リアディフューザー

ボディ下部（アンダーフロア）を流れる風をリアバンパー下部から効率よく抜くことで負圧を発生させ、ダウンフォースを得るための整流板。レーシングマシンでは常識的に用いられているパーツで、アンダーフロアと路面との間隔が狭まるにしたがって効果が増す。



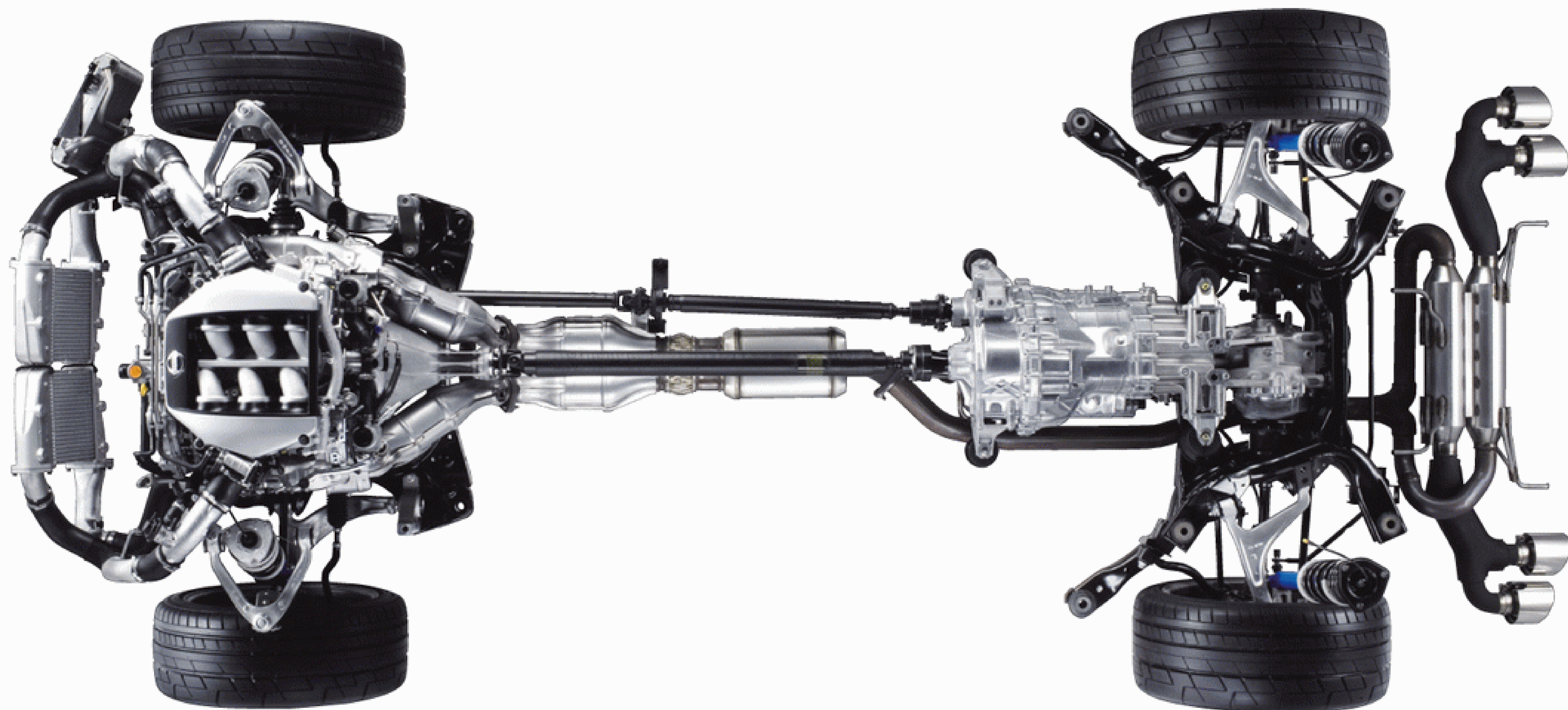


CHARACTERISTICS

CHAPTER 03 Tuning & Settings

車両特性に応じたセッティング

クルマの数だけセッティングは存在する。特に、駆動方式が異なれば挙動やハンドリングも大きく異なる。まずは、それぞれの特性を理解した上でのセッティングを考えたい。

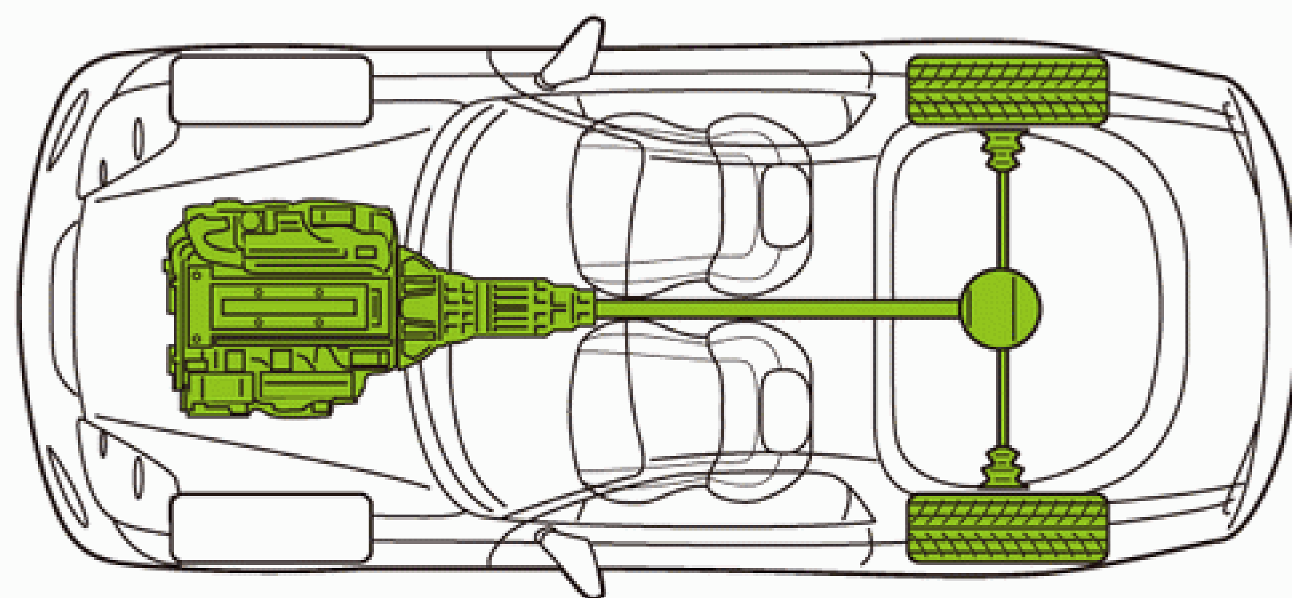


駆動レイアウト

クルマの中で最も重いエンジンの搭載位置と、エンジンパワーを路面に伝える駆動輪の位置で決まるのが駆動レイアウトだ。クルマは駆動レイアウトによってそれぞれ異なるメリット、デメリットを持つが、スポーツドライビングにおいても、走行性能や操縦性に直結する重要な要素となる。駆動レイアウト自体を変えることは困難だが、可能な限りそのレイアウトのメリットを生かし、デメリットを抑えることでより速い走りに繋げよう。サスペンションからドライブトレイン、エアロダイナミズムに至るまで、すべての要素を総合的に捉えて、高い次元でバランスさせたセッティングは、ノーマルと一線を画す走りをもたらすはずだ。

FR

最適な前後重量配分を持たせれば、優れた旋回性能と安定性の両立が可能。速さを考えるならパワーONでテールスライドを起こしにくい、リアのトラクションを上げたセッティングを目指そう。一方フロントはパワーONで荷重が減るため、狙ったラインをトレースできなくなるプッシングアンダー対策を重視したい。

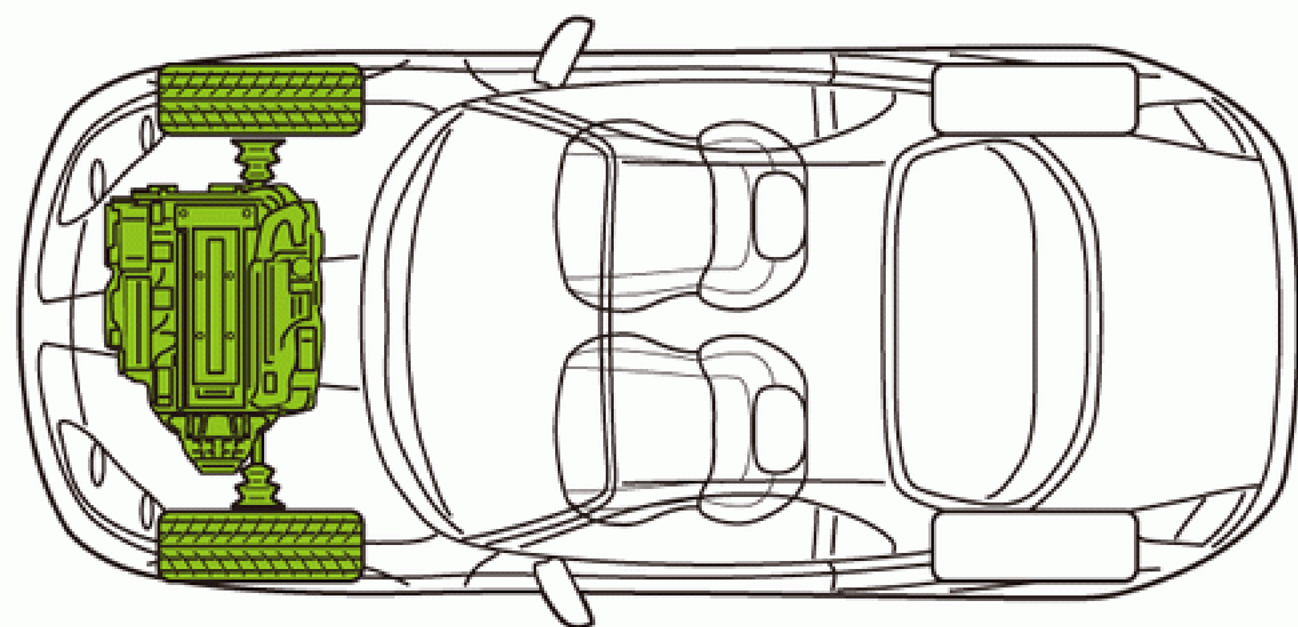


Characteristic

弱点を補い、利点を伸ばす。

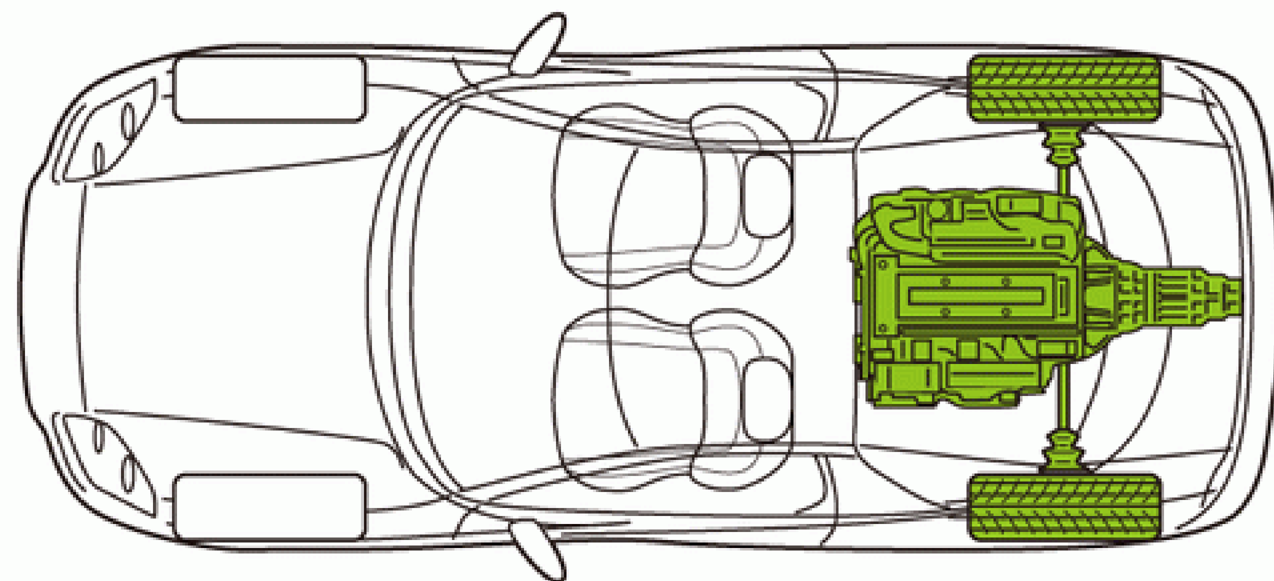
FF

駆動&操舵の両方を行うフロントタイヤに目が行きがちなFF車だが、リアにも十分気を配りたい。基本は高速コースならリアが粘るよう安定性を重視し、細かいターンが続くならアクセルオフなどでリアを流れやすくし、シャープに曲がれるクルマにする。LSDはアクセルONのみで作動する1WAYが基本となる。



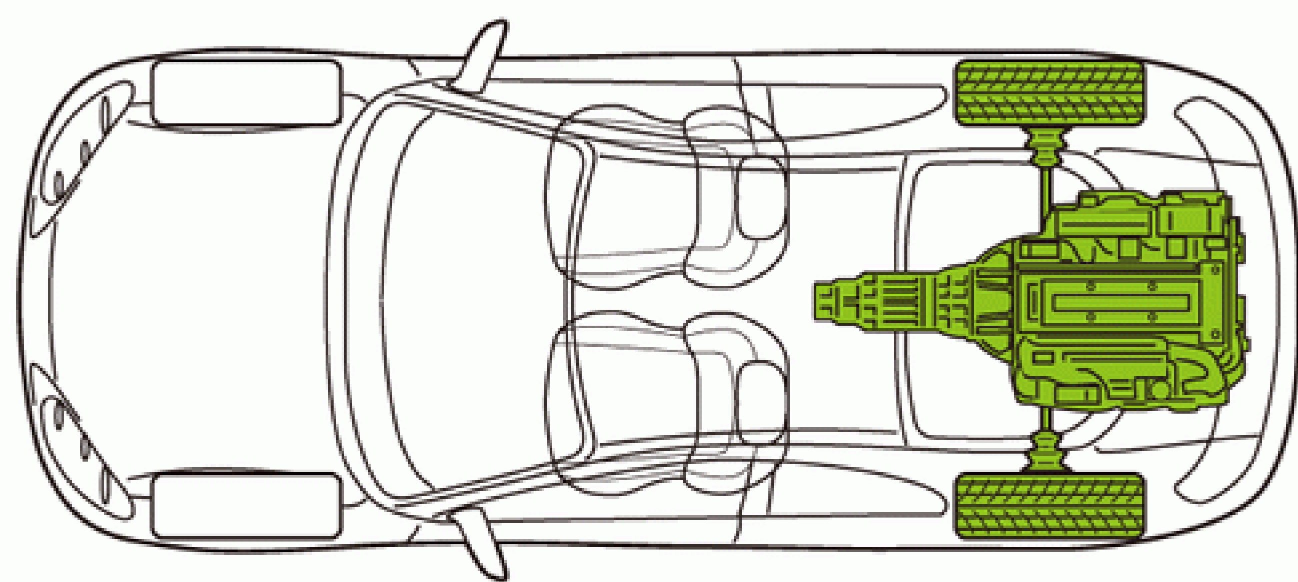
MR

エンジンをクルマ中央に積むため加減速は有利。回頭性もシャープだが限界域ではフロントに乗る荷重が少なくなるためアンダーステア傾向となる。リアが流れた時のスピードも速い。コーナリング初期の旋回性能確保を最優先し、次に立ち上がりでのトラクション確保を意識したい。合わせて前後のダウンフォースもバランスよく調整しよう。



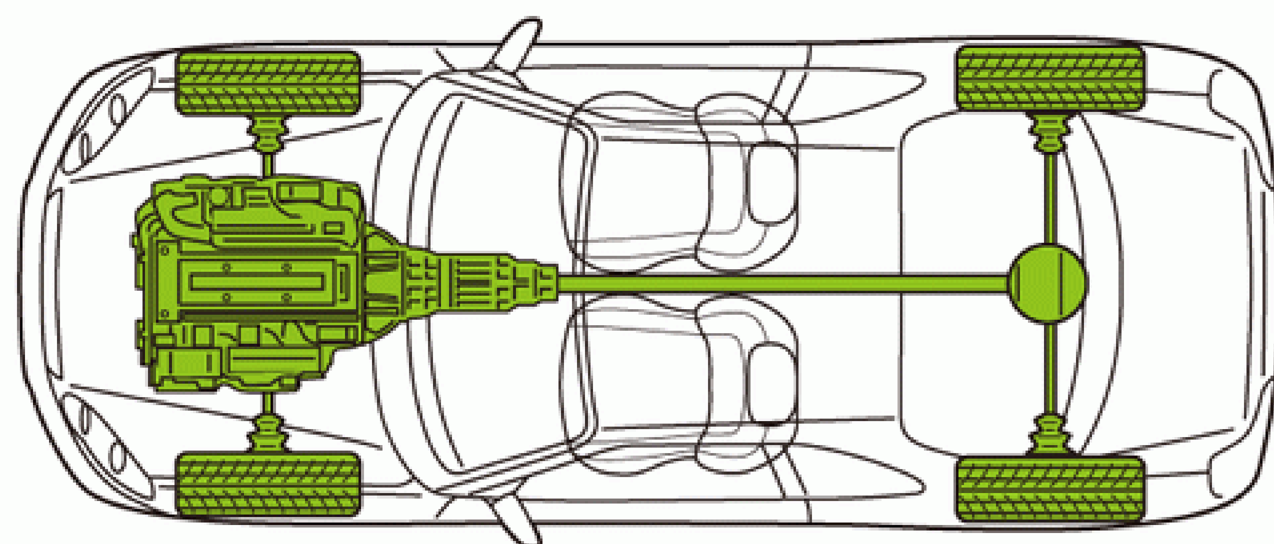
RR

重いエンジンをリアに搭載するため2輪駆動車ではもっとも優れた加減速性能を持つが、コーナリングではフロント荷重がMR以上に少ないため、強いアンダーステアを示しやすい。さらに限界を超えたときは重いリアが振り子となって一瞬にしてオーバーステアに転ずる。コーナリング初期でしっかり旋回性能を確保するセッティングが望ましい。



4WD

ベースとなるクルマの駆動方式によって挙動が異なるが、安定性が高いため曲がりにくいという基本特性を持つ。もとより立ち上がりの安定性は優れているので、コーナリング初期の回頭性を重視したセッティングを意識しよう。その場合は前後の駆動力配分も大きな要素となる。装着するLSDはフロント：1WAY、リア：2WAYが基本だ。



TO PART

CHAPTER 03 Tuning & Settings

部位ごとの基本セッティング

単に高性能なパーツに交換しただけではクルマは速くならない。
他とのバランスも考えながらセッティングを加えることこそが、
各々の性能をフルに引き出し、クルマ全体のポテンシャルアップにつながるのだ。

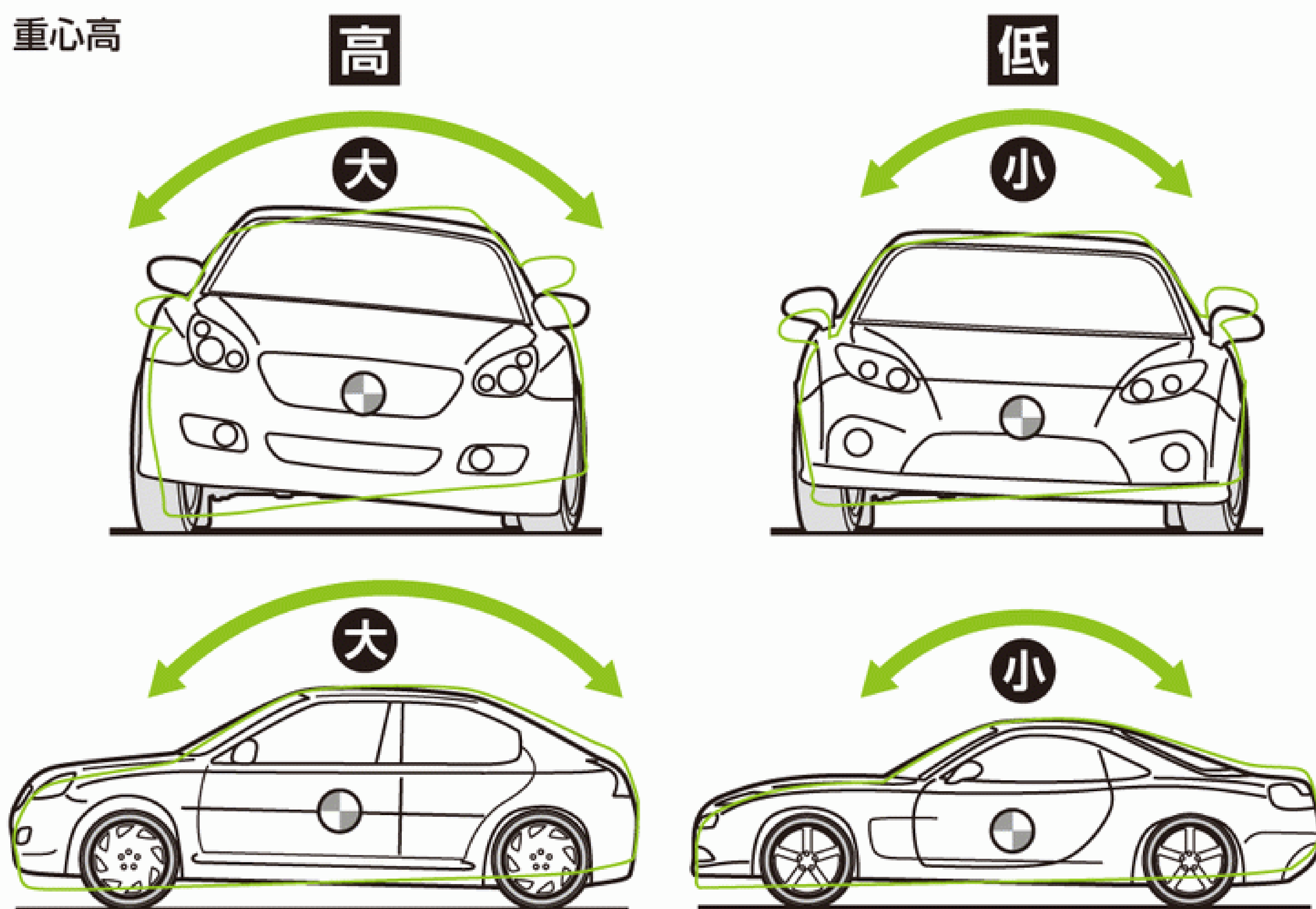
サスペンション
［車高調整／スプリングレート］

クルマの性格を自在に変えられる

路面の凹凸による影響がなければ、車高は低めるほど重心が下がり、コーナリングでのロールや加速／減速時のピッチングが抑えられて運動性能は高まる。また前後で車高を違えることで挙動変化を最適化することも可能で、たとえばリアに対してフロントの車高を低めたセッティングでは、コーナリングの進入制動でよりフロントタイヤを強く路面に押し付けることに繋がり、スムーズなターンインが可能になる。FF車では脱出加速時のノーズアップが抑えられ、トラクションをかけやすいというメリットも生む。

スプリングレートも運動性能に与える影響は大きい。一般的にスプリングは硬いほどいいと思われているが、必ずしもそうとは限らない。車高を低くするのと同様、硬くするほどローリング、ピッチング、ヨーイングといった走りを阻害する動きを抑えられるが、硬すぎると路面からの反発力が増し、タイヤの接地性が損なわれてトラクションが得にくくなる。硬さとしなやかさをバランスさせることを何よりも優先させよう。

スプリングレートはまた、ハンドリング特性にも大きな影響を与える。基本的にフロントのレートが高ければアンダーステア傾向、リアが高ければオーバーステア傾向にクルマを仕立てることができる。ただしここではダンパー減衰力も作用するため、両者を複合的に考えたセッティングが求められる。



サスペンションの前後バランスを取る。

サスペンション ［ダンパー減衰力］

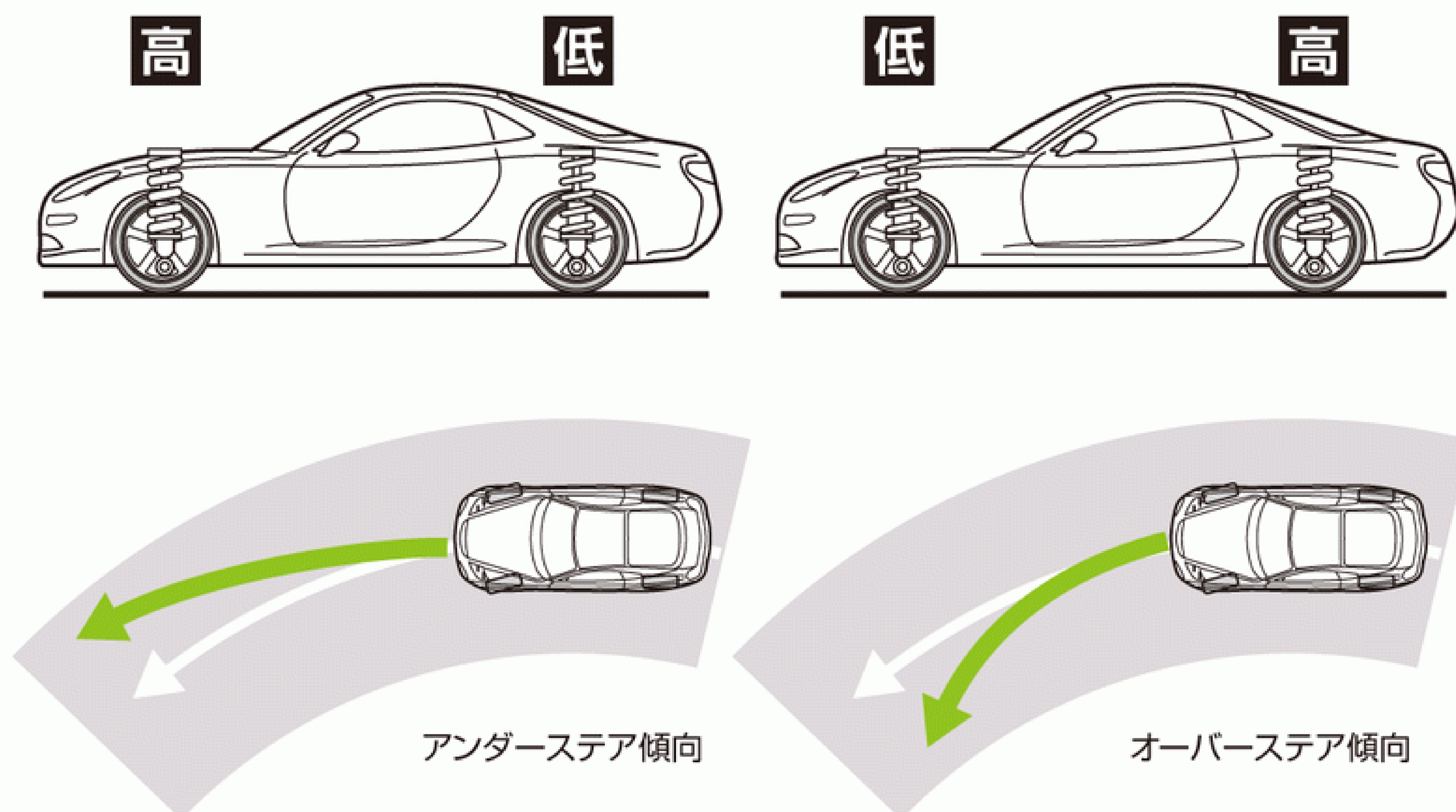
縮み側、伸び側を臨機応変に設定

荷重が加わったスプリングの伸縮の速度を制御するのがダンパーで、その抑える力を減衰力という。減衰力はダンパー内に封入されているオイルやガスの中をピストンが上下する際に生じる抵抗によって発生し、減衰力が高ければスプリングの伸縮はすぐに収まり、減衰力が低ければ収まりにくくなる。

基本的に、減衰力は縮む側と伸びる側とで設定が異なり、セッティング次第で、挙動や操縦性を変えることが可能だ。縮み側を高くすれば、制動時のノーズダイブや旋回時のロールなどの姿勢変化の速さを抑えられるが、足回りは突っ張った状態になり、凹凸で跳ねやすく、荷重移動を利用しにくくなるといった弊害も生む。一方伸び側の減衰力は大きな挙動変化を落ち着かせる際に有効だ。たとえば伸び側の減衰力を高くしておくと、コーナーの立ち上がりのアクセルオンでフロントのサスペンションが伸びてしまうことを防ぎ、フロントタイヤの接地性をキープすることが可能になる。

さらに、ハンドリング特性も前後の伸び／縮みの減衰力調整で変化させることが可能だ。フロントの縮み側を弱めれば、ターンイン時のフロントへの荷重移動量が増えるのでアンダーステアを弱めることができる。伸び側では、オーバーステアを強める場合はリアの減衰力を弱く、アンダーステアは強めるのが基本。手順として、縮み側のセッティングを出してから、伸び側を設定するのがセオリーとなっている。

前後減退力（縮み側）



サスペンション
［ホイールアライメント・キャンバー角］

旋回に有効なネガティブキャンバー

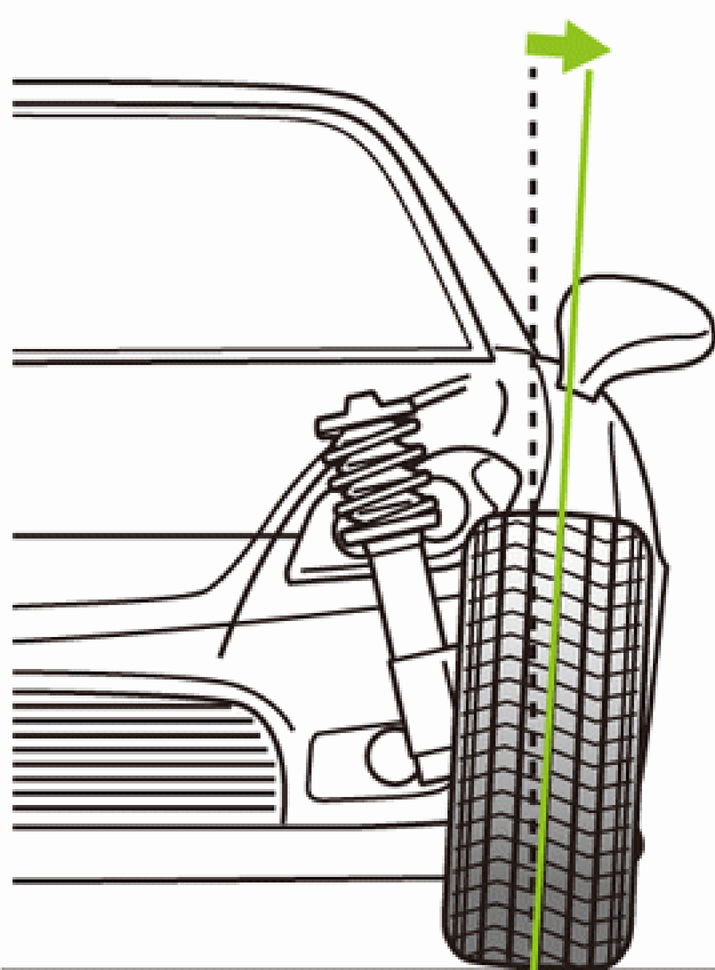
ホイールアライメントの代表的なセッティングがキャンバー角調整だ。クルマを正面から見たとき、ハの字状にタイヤ下側が広がっているのがネガティブキャンバー、逆に下側が閉じているのがポジティブキャンバーという。

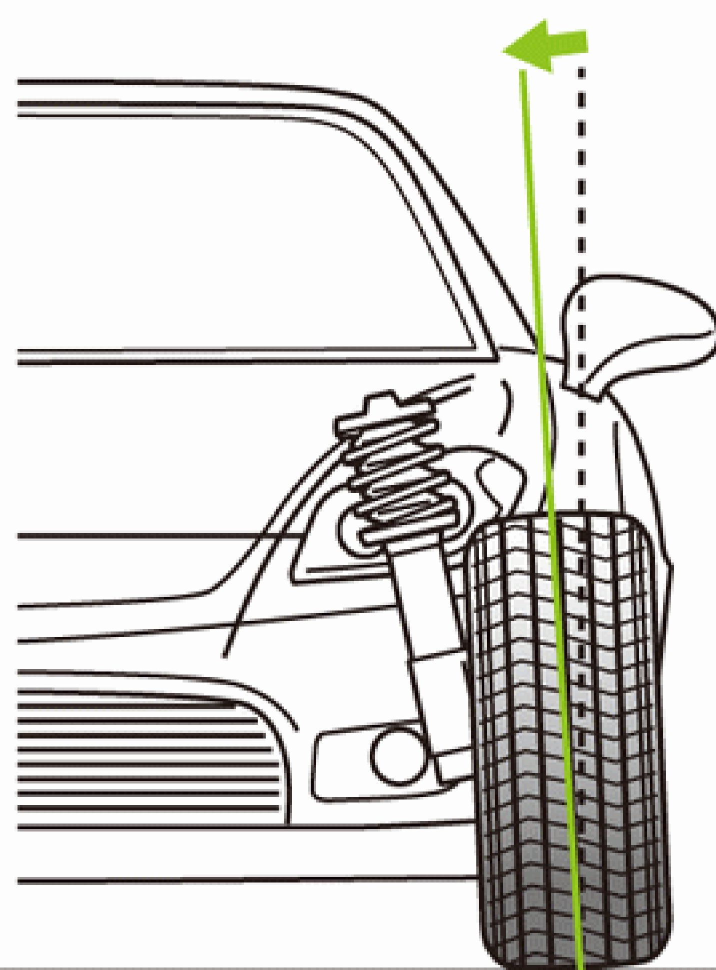
コーナリングの時、クルマは遠心力でコーナー外側に傾く。この傾きを見越してタイヤをネガティブキャンバーにしておけば、コーナーでタイヤをきちんと路面に正立させてしっかりトラクションをかけることができる。「キャンバー角をつける」といえばこのネガティブキャンバーの効果を狙ったものと思って間違いない。

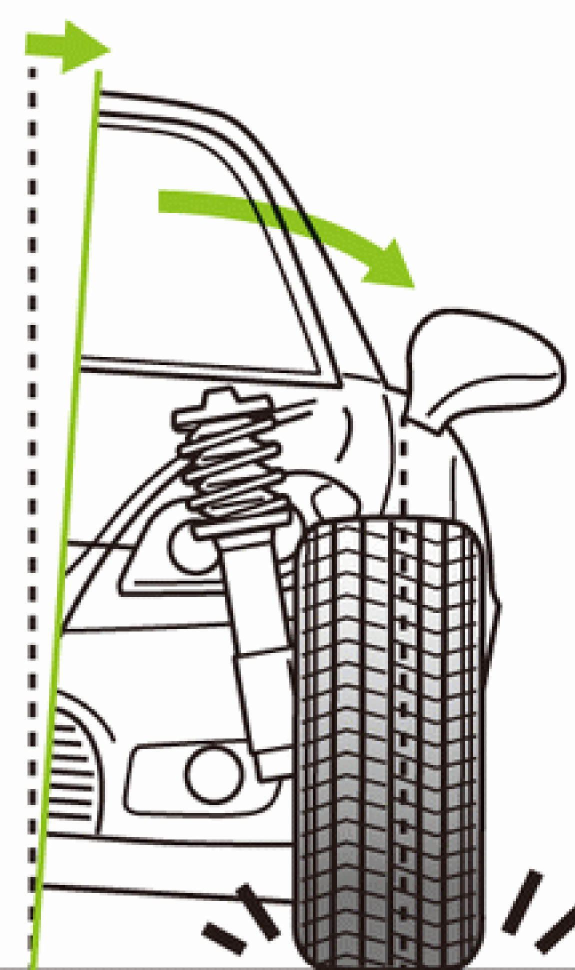
ただしコーナーで踏ん張りを効かせることを目的としたネガティブキャンバーは当然直進時にデメリットを生じる。タイヤが路面に正立しないため路面の轍にステアリングをとられがちになり、トラクションがかかりにくくなる。またタイヤが抵抗となるため加速性能が低下し、接地面積の減少から制動距離が伸びる場合もある。ネガティブキャンバーを強めていくとこの直進時のデメリットばかりが強くなるので、極端なセッティングを行う前に、このメリット・デメリットをしっかり頭に入れておく必要がある。

実際にネガティブキャンバーのセッティングをする際には、コーナリング中の前後タイヤの重量バランスを考慮する。フロント荷重が大きいなら前輪のネガティブ角度を大きめに、後輪の角度は小さめに。こうすることでマシンのアンダーステア傾向が改善されるはずだ。

一方のポジティブキャンバーだが、タイヤグリップの絶対値を下げてしまうため現実的なセッティングとはいえない。クルマの挙動が過敏になるので避けるべきだろう。







タイヤのグリップを
有効に引き出す。

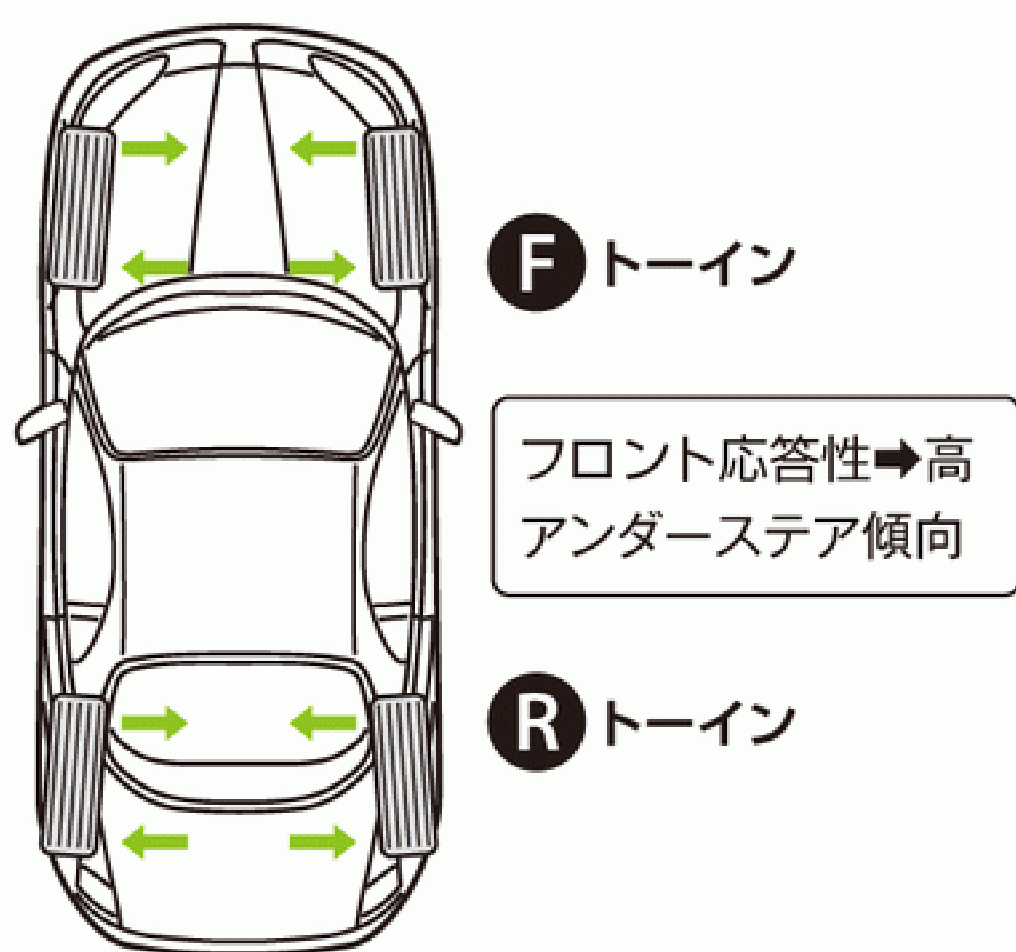
サスペンション
［ホイールアライメント・トー角］

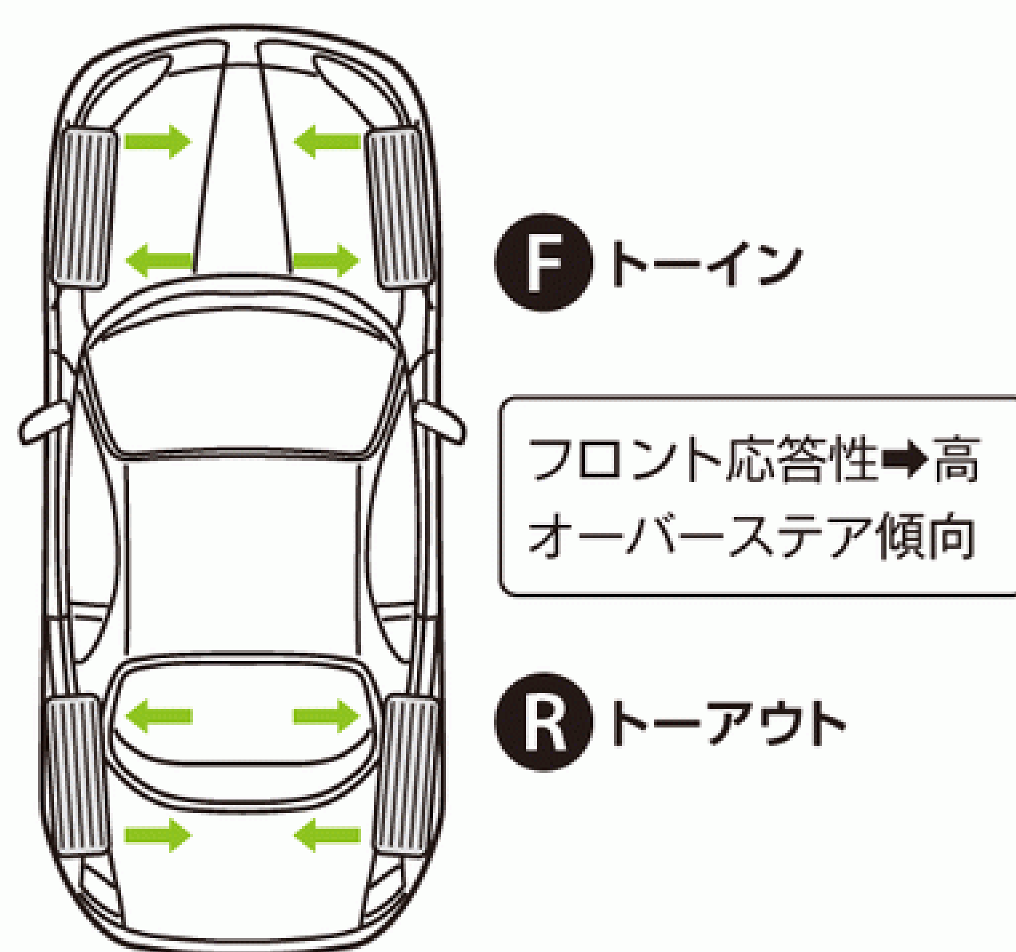
安定性を左右する繊細なアングル

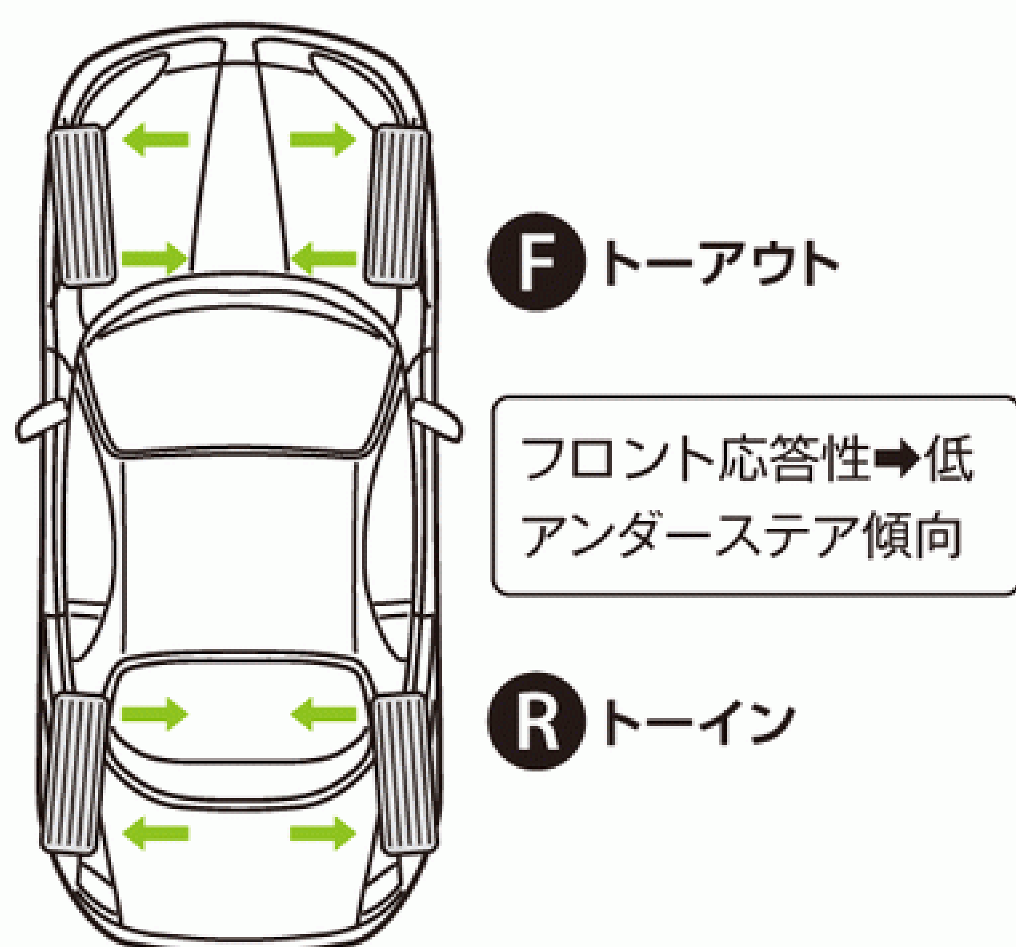
車体を上から見たときのタイヤのトー＝つま先部分の角度調整だ。トーは特に左右の荷重バランスが崩れた際の特性に大きく影響する。たとえばコーナリングではアウト側のタイヤに荷重が移動するため、アウト側のタイヤの向きが挙動に大きく影響する。トー角の調整はこの時のタイヤの向きを決めることで、クルマの安定性を決定付ける役割を担っているのだ。

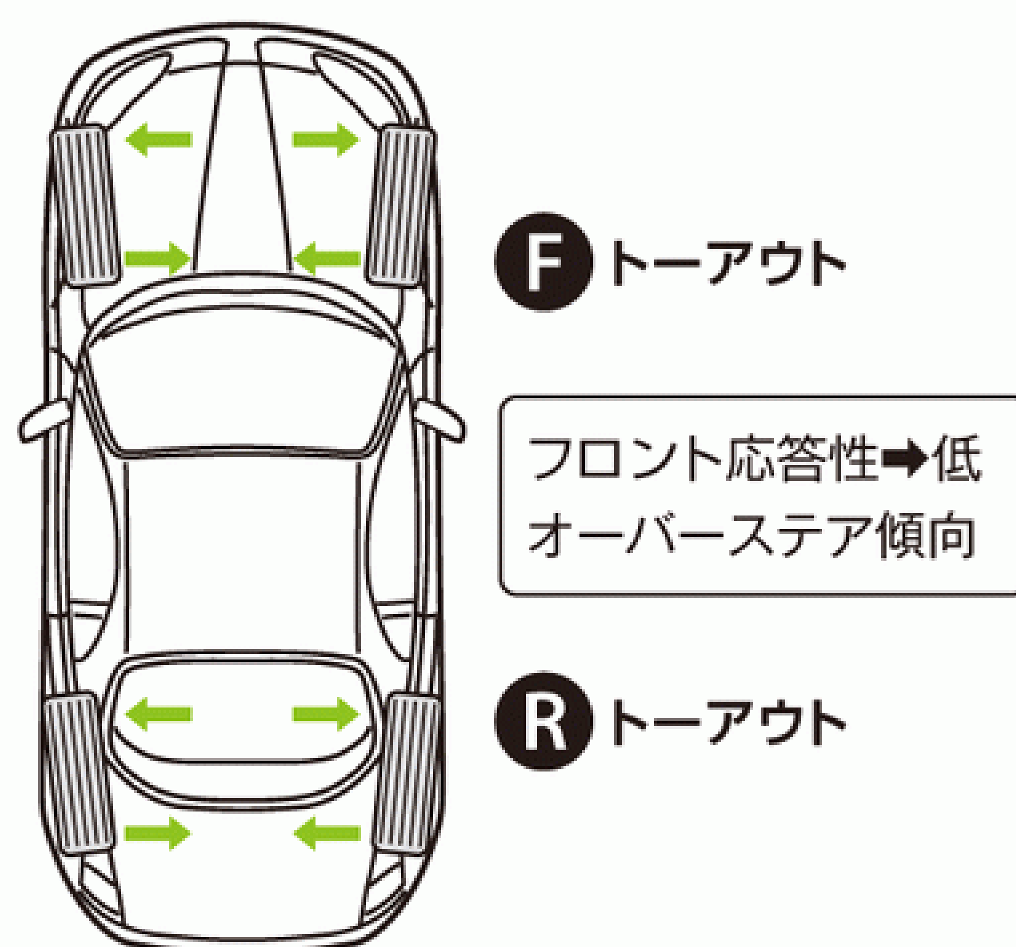
進行方向に対してタイヤが内側を向いている状態を“トーイン”、外側を向いている状態を“トーアウト”と呼ぶ。ハンドリング特性で見ると、基本的にフロントをトーイン、リアをトーアウトにしていくとオーバーステア傾向、逆の設定ではアンダーステア傾向に転じる。またコーナリング時のフロントの動きを落ち着かせるためにトーアウトに設定するケースもある。

もっともトーは、ホイールベースやトレッド、キャンバー角、さらにはエンジンパワーや駆動レイアウトとも密接に関連している。調整はほかの部分では補正し切れない車両特有のクセを補正したり、操縦性の微妙な味付けとして最後に行われることが多い。また角度を付けた分だけ走行抵抗になることもあり、大きな角度変更を行うことは少ない。とくにリアの角度変更は走行性能や操縦性への影響が大きいため、フロントを主体にわずかな範囲で調整していくのがセオリーとなっている。









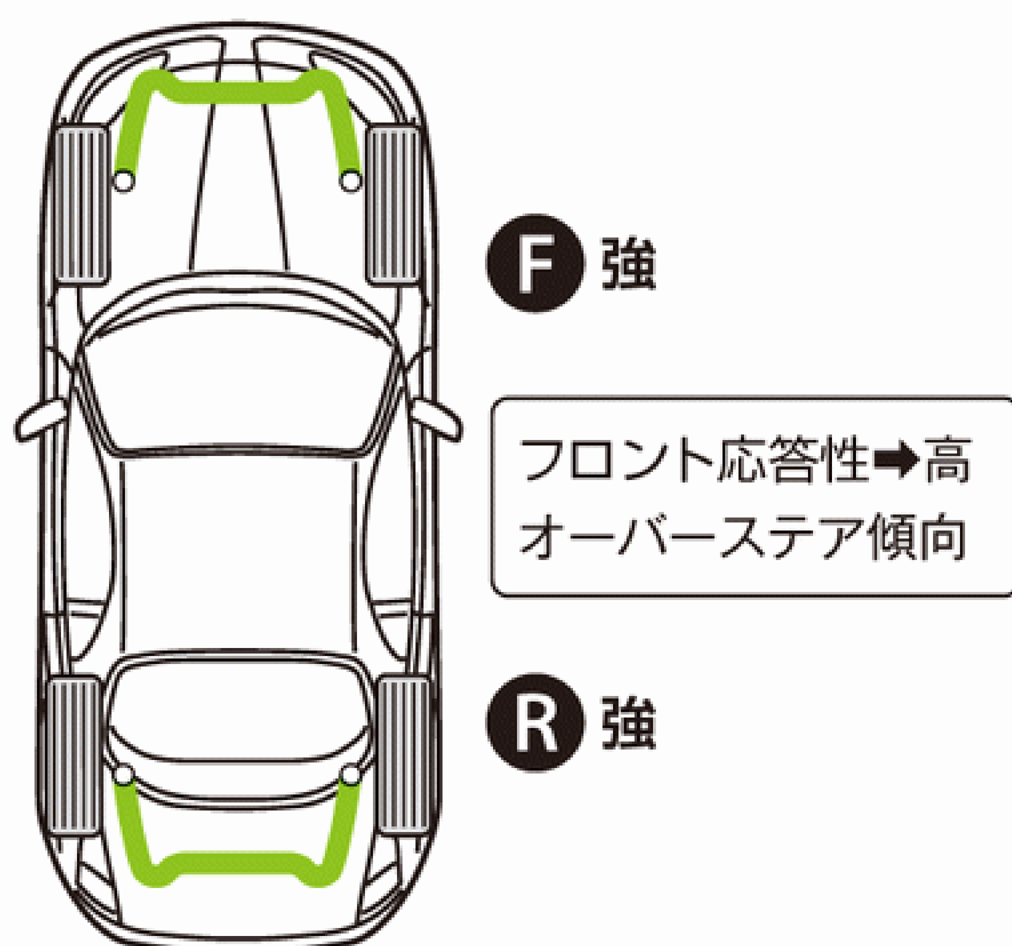
サスペンション
［スタビライザーレート］

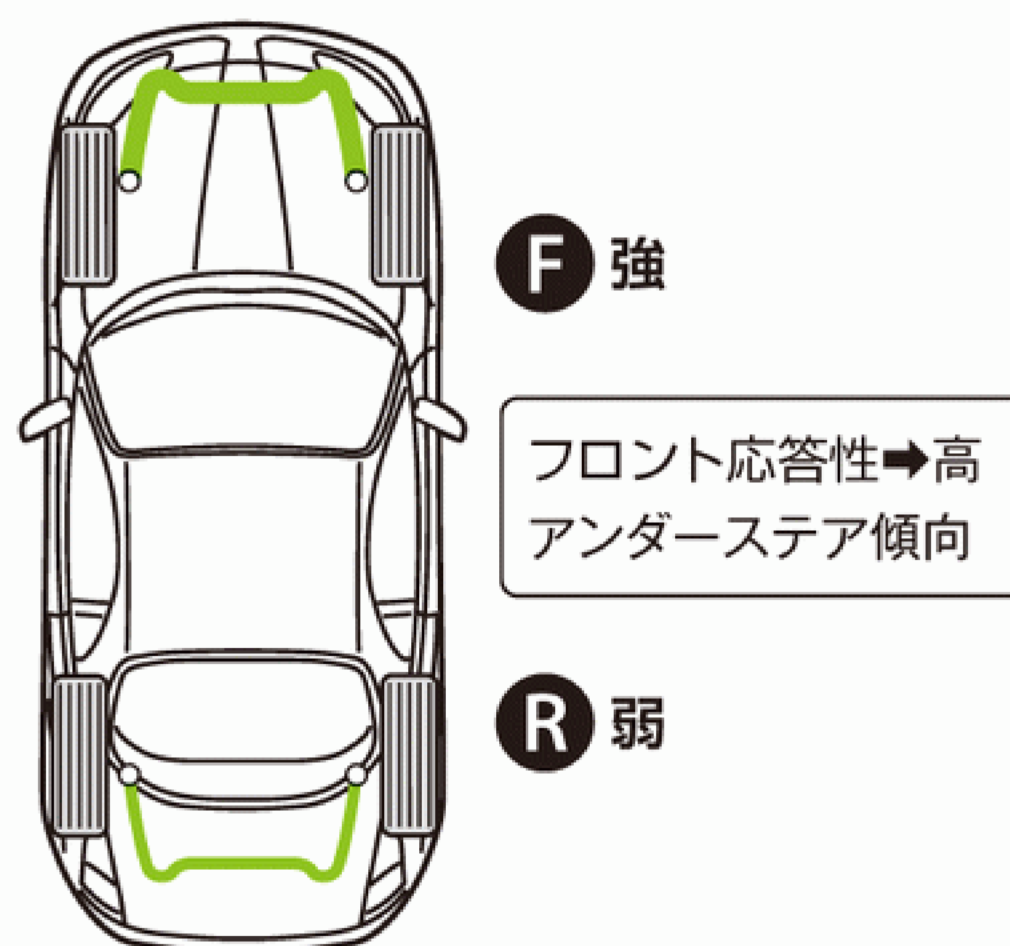
調整は最後の味付け程度

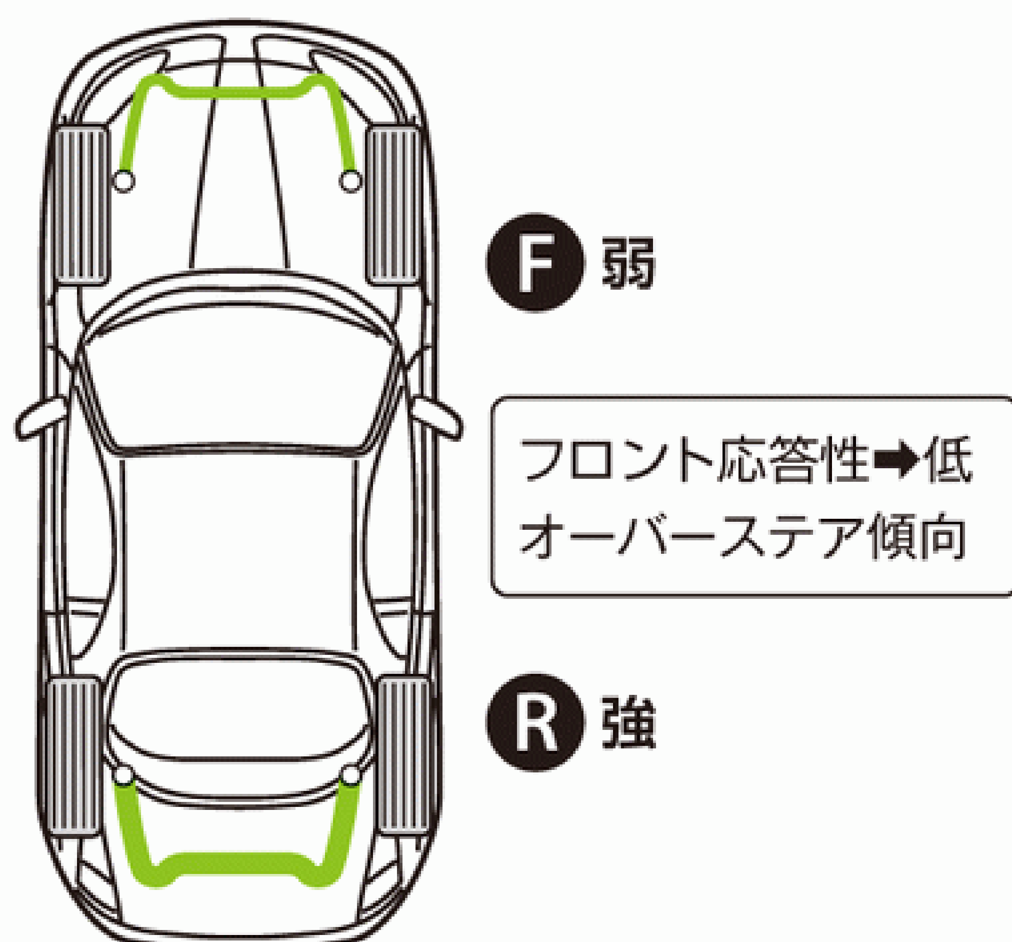
鋼材の棒をねじったときに発生する反発力を利用したばねをトーションバースプリングというが、スタビライザーは左右のサスペンションのロアアームをこのトーションバースプリングで繋いだものだ。コーナリングで片方のサスペンションが動いた際に、もう片側のサスペンションが抵抗になり、動いたサスペンションを元に戻そうとする力で、車体の傾き（ロール）を抑え、タイヤの接地性を高めている。コイルスプリング同様バネの硬さはレートで示され、フロントを強くすればステアリングのレスポンスも高まる。

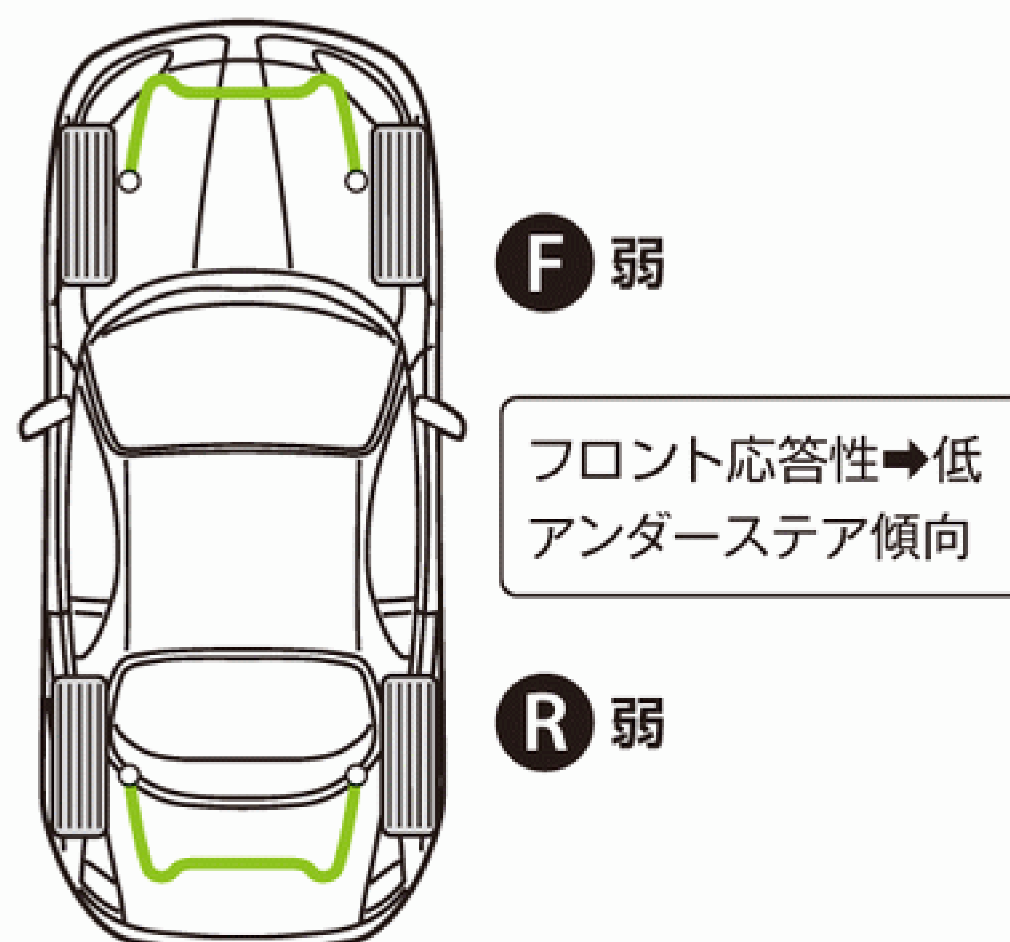
セッティングで注意すべきポイントは、サスペンションスプリングよりも高いレートにしないこと。スタビライザーのほうが強すぎると、荷重を支えているアウト側のタイヤが動いた際に、スプリングがスタビライザーの強さに負けて、同じ方向に動いてしまい、イン側のタイヤが浮き上がるインリフト現象を起こし、十分なトラクションを得られなくなる。

また、前後のレートの組み合わせでハンドリング特性もある程度、調整することも可能だが、サスペンションセッティングは、あくまでもダンパー減衰力とスプリングレートの組み合わせが基本。これにスタビライザーレートまで加わると、セッティングが複雑になりすぎてポイントが絞りにくくなる。スタビライザーによる調整は最後の味付け程度に考えたほうが無難といえる。









ドライブトレイン
［LSD］

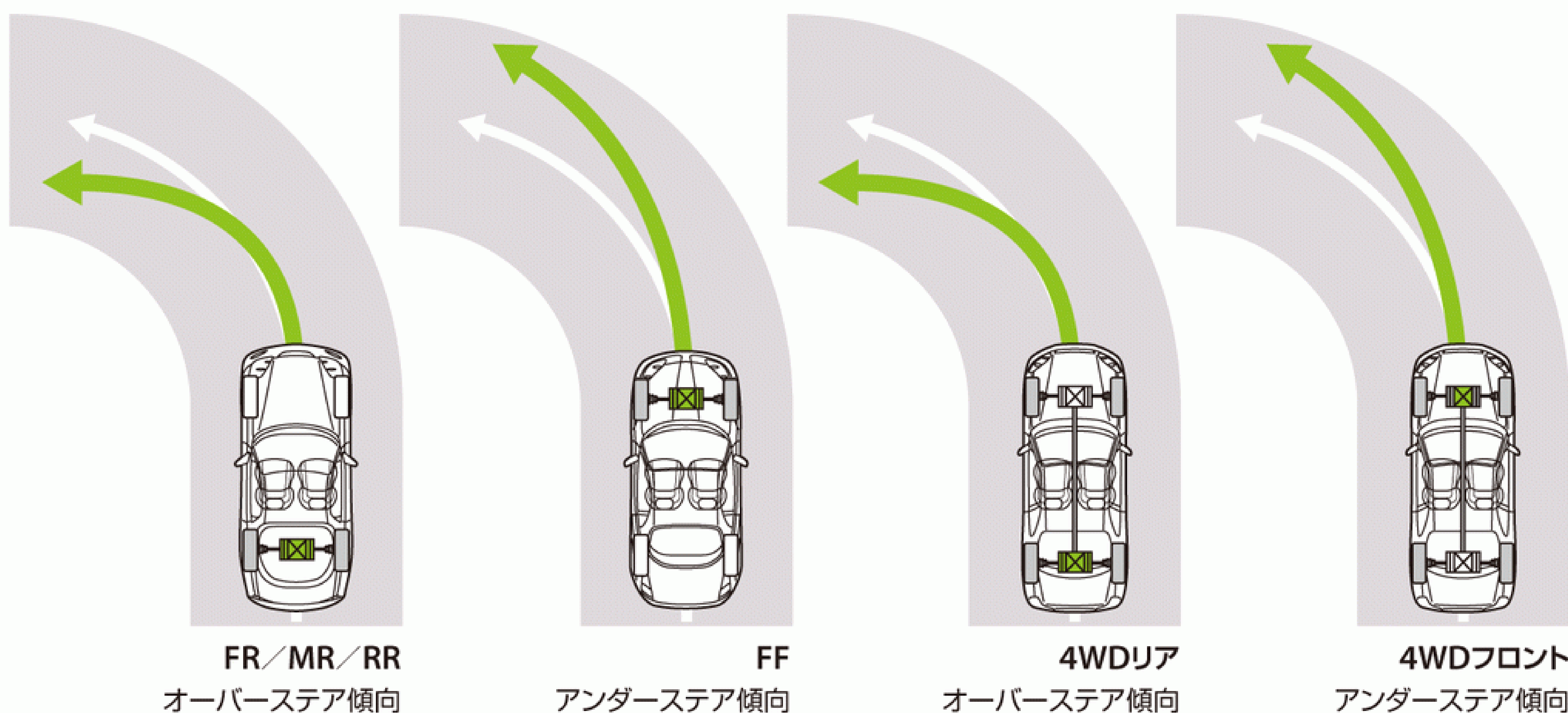
効かせ方次第で操縦性も変化

イニシャルトルクとは、LSDが効き始めるタイミングを決定するトルク値のことで、値を高めればアクセル操作に対する反応が速くなりLSDはロックしやすくなる。逆に低くすれば穏やかな効きを示す。

LSDのイニシャルトルクを上げると、一般的にクルマの駆動方式のハンドリング特性が強調されるようになる。後輪駆動車でトルクを上げればオーバーステア、前輪駆動車でトルクを上げればアンダーステア傾向が強まるが、いずれの場合も強力なトラクションが得られる反面、ターンインがしにくくなるというデメリットも際立ってくる。セッティングでは求めるハンドリングをしっかり意識しよう。

もうひとつのセッティングとして注意したいのが加速側と減速側の調整だ。加速側は、アクセルを踏んだ状態でのLSDの効きを調整するもので、強くすれば駆動力が増して素早くコーナーをクリアすることが可能。ただし同時にハンドリング特性の変化の傾向も強まるため、いち早くコーナーの立ち上がり方向に向きを変える運転技術も要求されるようになる。

一方減速側のセッティングはアクセルOFF時のLSDの効かせ方のことで、強く設定すればコーナーへの進入制動で挙動安定性が増すため、ギリギリまでブレーキングを残した思い切った突っ込みが可能になる。ただし回頭性が著しく損なわれる（曲がりにくくなる）ため、どちらかといえば上級者向けのセッティングといえ、初期アンダーを消すためのテクニックが不可欠となる。



コーナリング中の操縦性を調整する。

ドライブトレイン
［ギアレシオ］

パワーバンド維持に有利なクロスレシオ

コーナーの連続するワインディングから長いストレートを持つサーキットまで、クルマが走るステージはさまざまだ。そんな時、ドライブトレインのギア比を変更することで、エンジン特性をそのステージに最適な形で取り出すことが可能となる。ギア比の変更にはトランスミッション自体のギア比とファイナルギアのギア比が影響する。

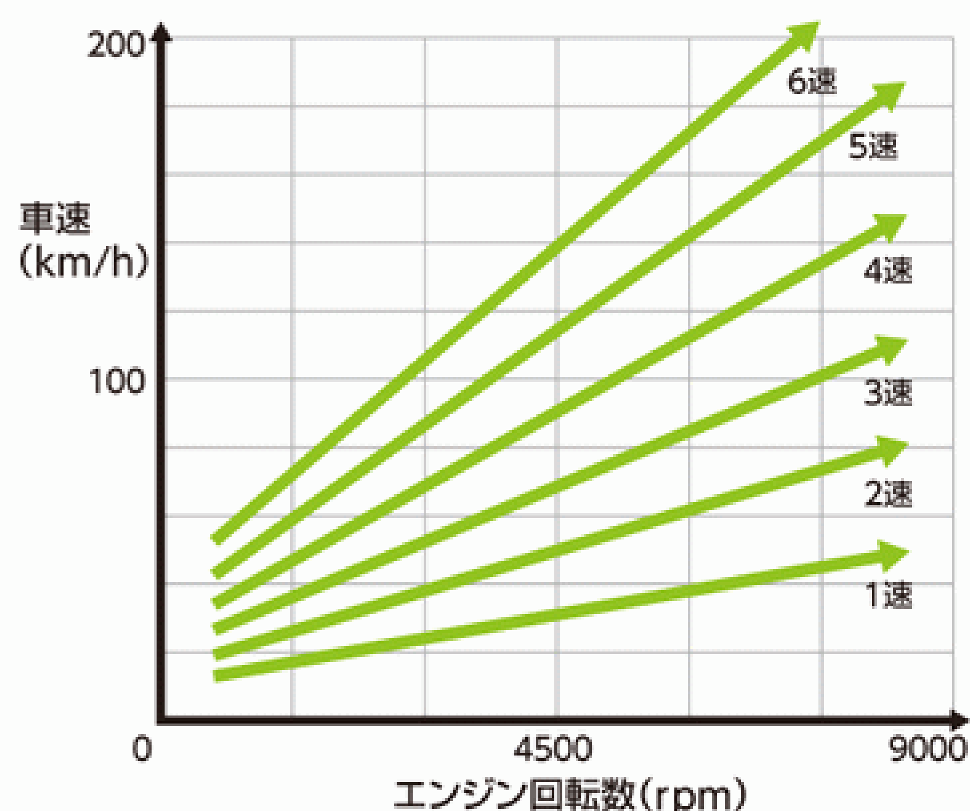
たとえば低中速コーナーが連続するコーナーでは、トップスピードの伸びよりもコーナーからの加速力を重視したい。そんなときはトランスミッションの各ギアの比を接近させて、パワーバンドを維持しやすくする。こうしたギア比をクロスレシオと呼ぶ。

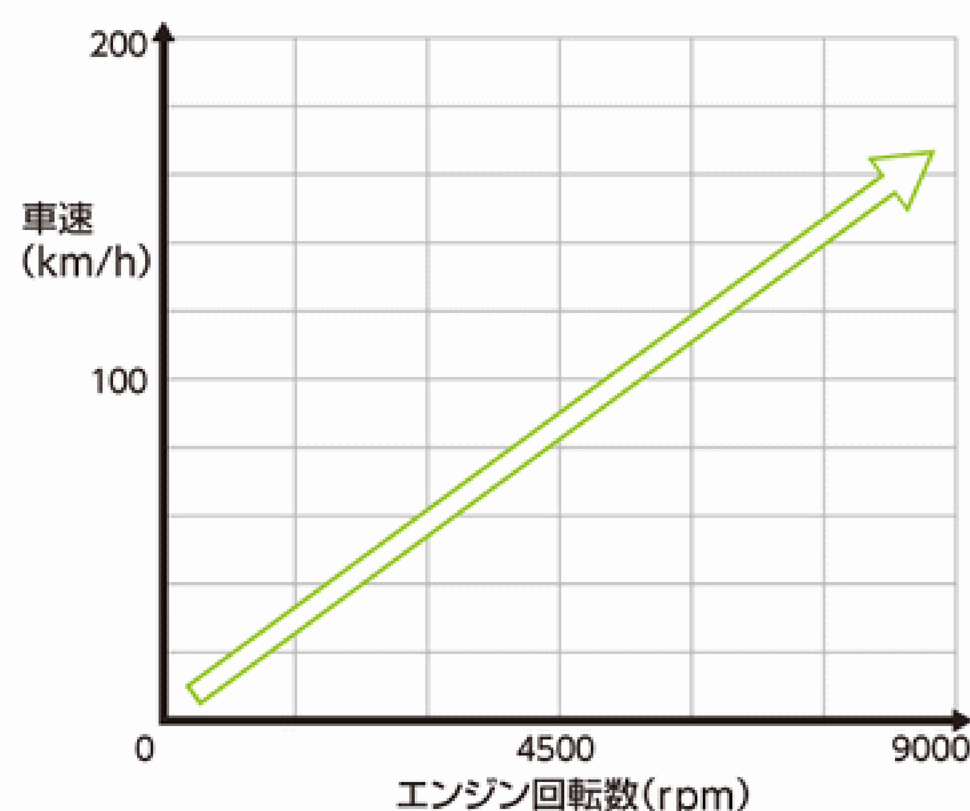
逆に長いストレートが勝負を決めるようなサーキットなら、5速、6速といった高いギアの比率を小さくして（＝ギアを離して）最高速が伸びるセッティングにすればよい。こうしたギア比はワイドレシオと言われる。

一方ファイナルギアのギア比は、トランスミッション全体の性格を左右する。同じトランスミッションでもファイナルギアを低くすれば加速重視の性格となり（到達最高速度は落ちる）、高くすれば最高速度を高める性格になる（加速性能は落ちる）。最初のうちは個々のギア比は変えずに、ファイナルギアだけを変更しよう。ストレートの終わりで最終ギアがきちんとレッドゾーンに達する（吹け切る）かを目安にするといい。



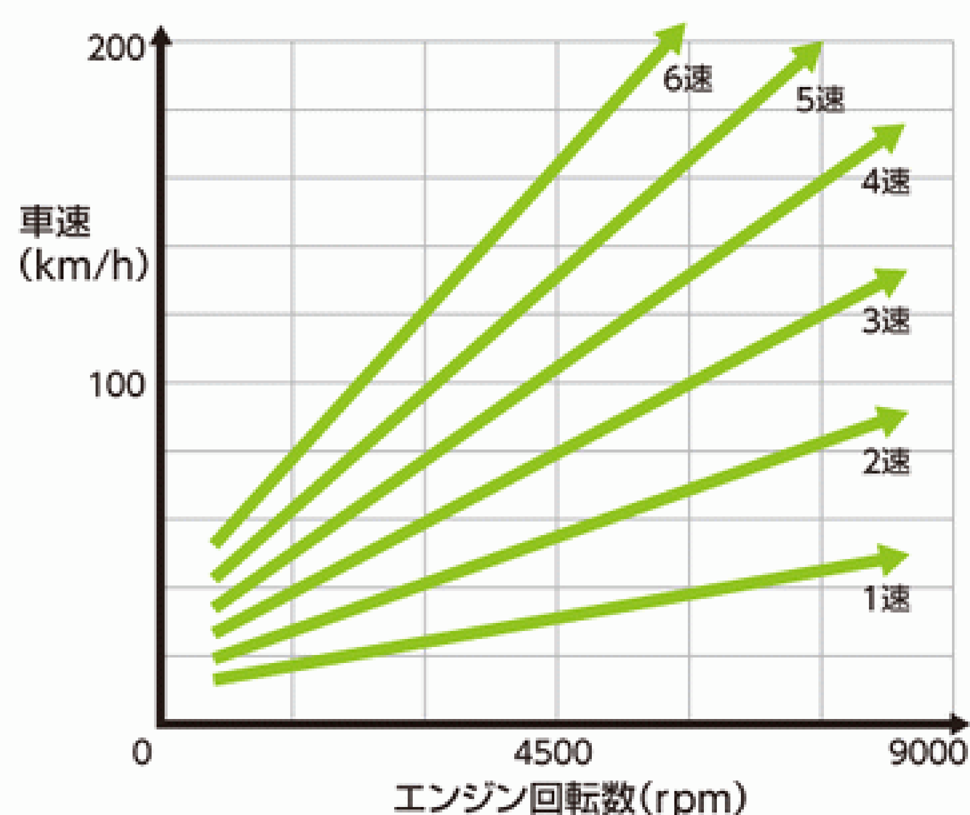
コーナーが連続するテクニカルコーナーでは各ギアを接近させて加速性能を重視する。

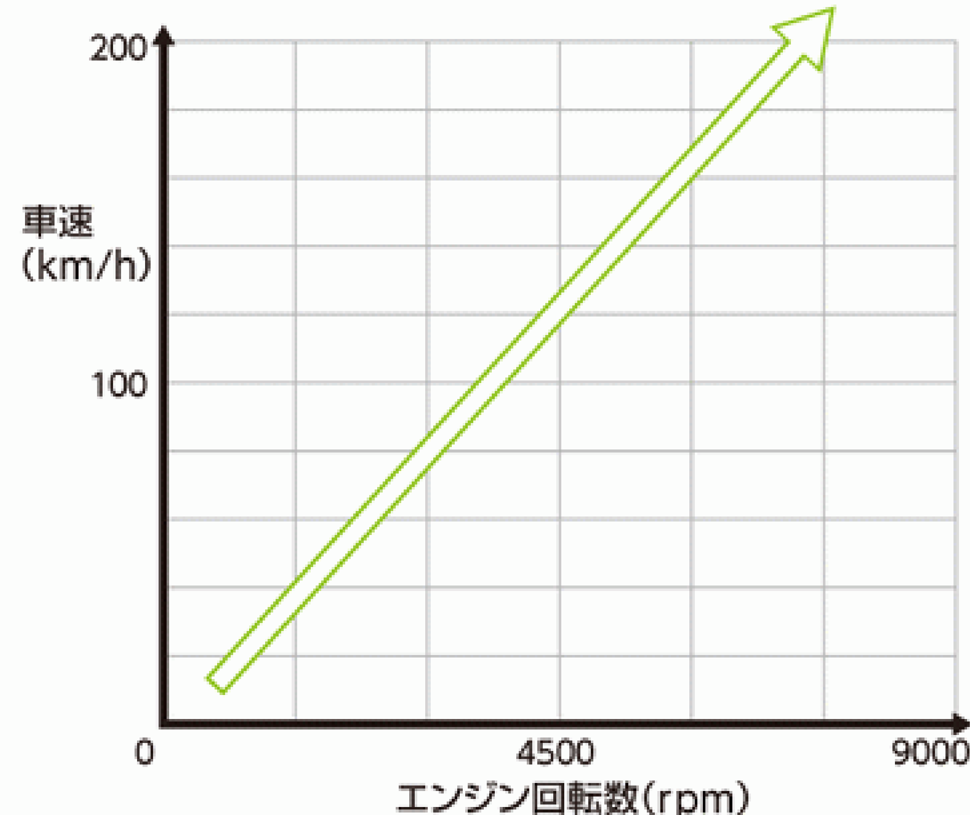






長いストレートが存在するハイスピードサーキットではギア比を高めて最高速重視に。





エアロダイナミクス
［ダウンフォース］

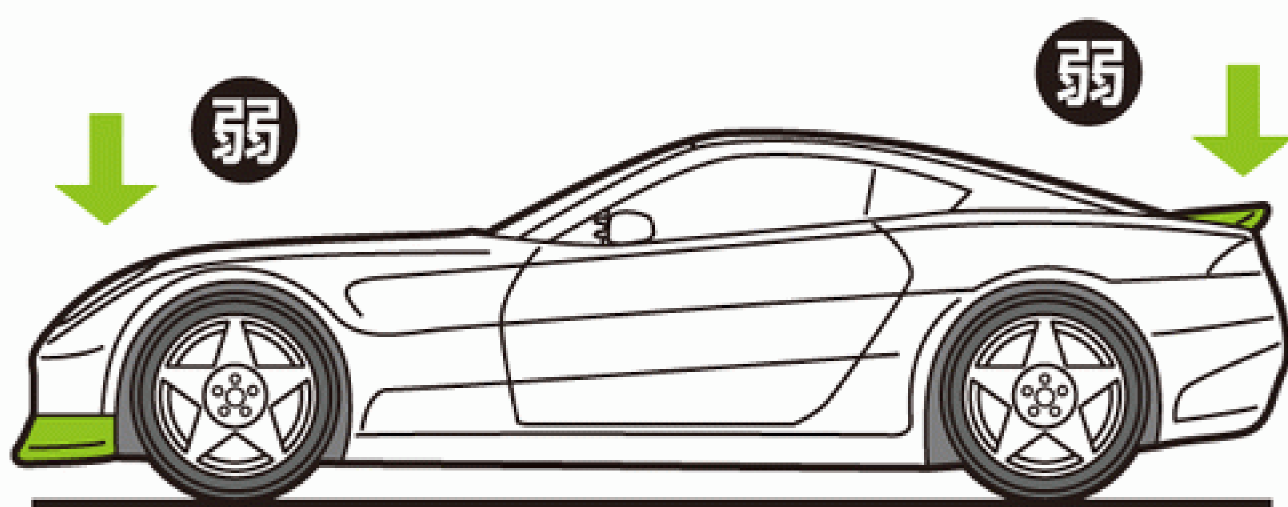
高速走行性能を決定付ける要

高速走行では空気の存在が無視できないが、大きく分けるとその影響は2つある。一つは最高速度の壁となる空気抵抗、もう一つはクルマを浮かせようとする揚力だ。この2つは「空気抵抗を減らすと揚力が増し、揚力を減らすと空気抵抗が増す」という相反関係にあるため、セッティングによって最適にバランスさせることが求められる。

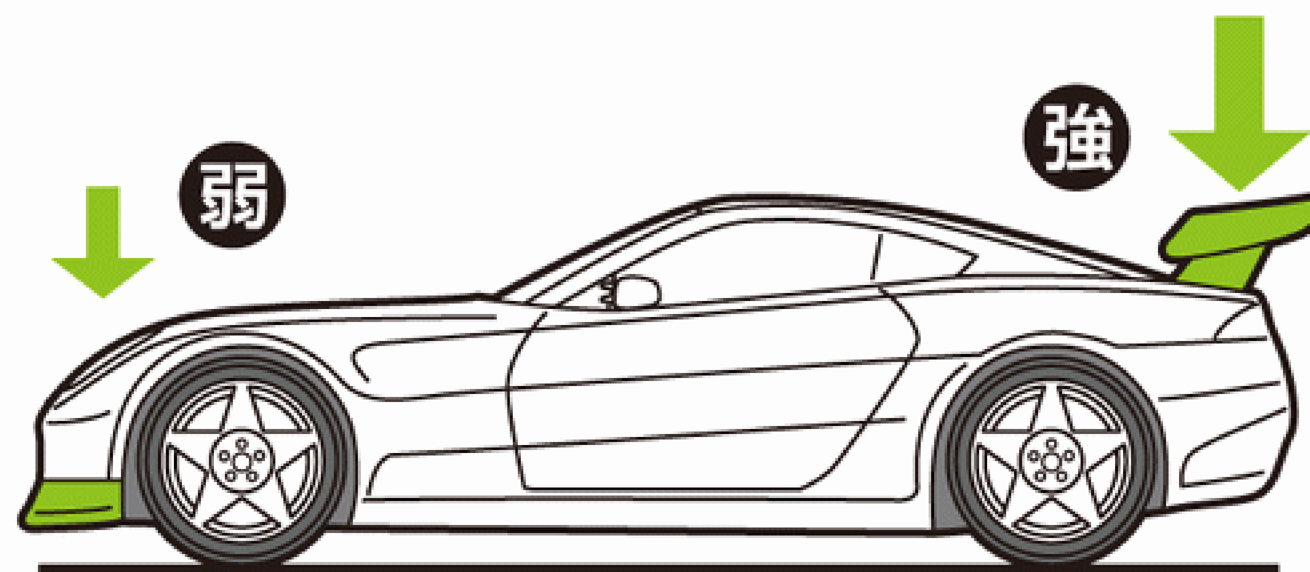
実際のセッティングでは、これはダウンフォースの問題に言い換えられる。ダウンフォースとは、空気抵抗の力を、クルマを路面に押し付ける力として利用するものだ。ダウンフォースを強めれば最高速度は低下するがコーナリングでクルマが安定し、特に高速コーナーの旋回速度を高めることができる。反対にダウンフォースを弱めればコーナリングスピードは低下するものの、ストレートでの最高速度を延ばすことができる。

ダウンフォースの量は走行するステージで決まるが、最初からダウンフォースを強めたセッティングはいい結果をもたらさない。必要最小限のダウンフォースでセッティングを施し、高速コーナーなどの重要性に応じて徐々に強めていくという手順で行おう。また小排気量車の場合はダウンフォースをゼロにしてトップスピードを重視したほうがいい。

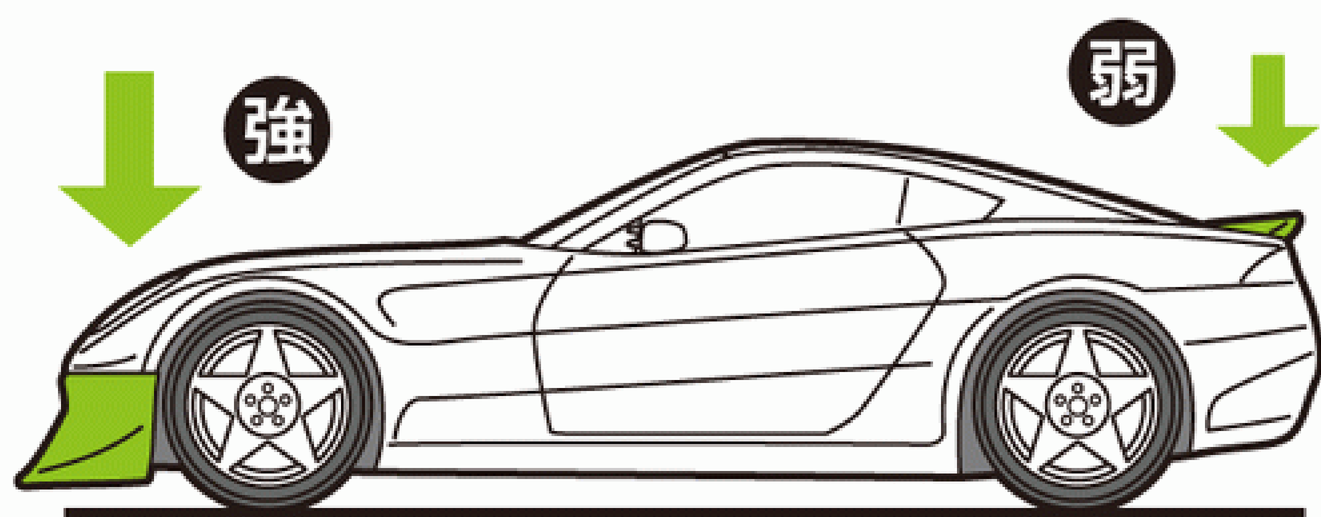
一方ダウンフォースは、前後別々に調整することで高速コーナーでのハンドリング特性変更にも利用できる、フロントを強くすればフロントタイヤのグリップが高まってオーバーステア傾向、リアを強くすればその逆の効果でアンダーステア傾向となる。ハイスピードサーキットでは大きな効果が得られるチューニングである。



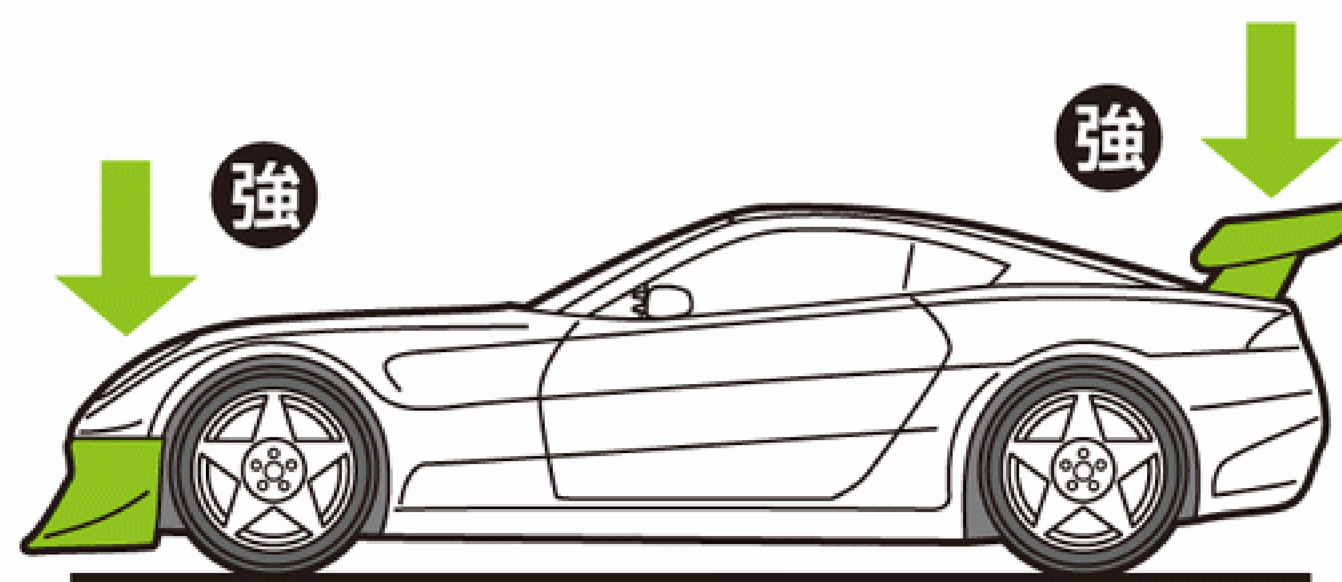
トップスピード➡高
コントロール性➡低



トップスピード➡やや低
アンダーステア傾向



トップスピード➡やや高
オーバーステア傾向



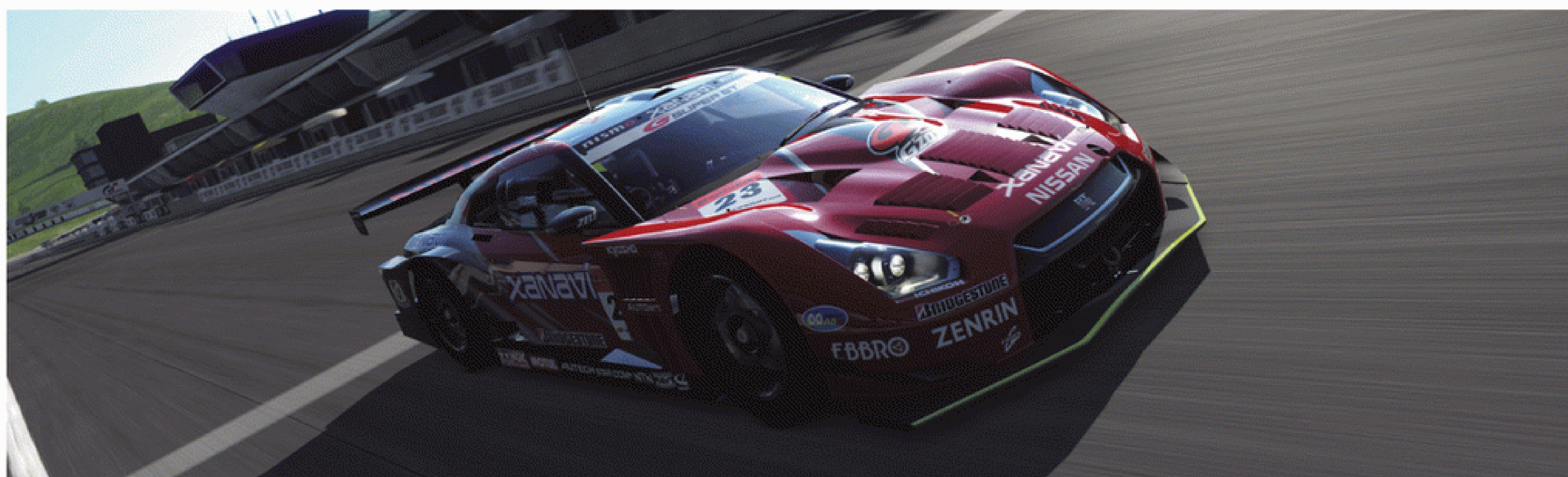
トップスピード➡低
コントロール性➡高

TO SITUATIONS

CHAPTER 03 Tuning & Settings

目的・状況に応じたセッティング

コースや路面状態に応じた操縦性を得ることも、セッティングの重要な目的。同じクルマ、同じチューニングでもサスペンションや駆動系の設定次第で、驚くほど大きな変化がもたらされる。



高速サーキット

トップスピードを伸ばす

高速サーキットでクルマに求めたいのは、高速コーナーを可能な限り速く抜けるセッティング。足回りから見ていくとバネレート、ダンパー減衰力ともに硬い方向。車高もなるべく低くセッティングする。ただしサスペンションストロークが足りなくなるほど車高を下げ過ぎたり、路面のギャップやウネリで受ける衝撃を吸収できないほどサスペンションを固めると逆効果になる。スプリングを硬くするならスタビライザーは柔らかめで適度なロールを起こしタイヤの接地性を確保しよう。一方荒れた路面に対してスプリングを若干柔らかめにするならばスタビライザーを硬くしてロールスピードを抑えよう。スプリングでやり切れない仕事をスタビライザーにさせる作戦だ。

アライメントも重要。スタビリティを稼ぐためリアのトーインは増やしたほうがいい。キャンバーはある程度ネガティブに。ただし高速域の直進やフルブレーキング時にタイヤの面積をなるべく広く路面に接地させて安定させたい狙いもあるので、適度に抑えよう。

ギアレシオはどんなコースでも共通することだが、常にパワーバンドを外さないセッティングにすることが大切。ファイナルはストレートの終わりで一番高いギアが吹け切るギア比に調整。ダウンフォースについては、基本的にはストレートスピードを伸ばす目的で減らす方向。ただしコーナーやブレーキングでの安定性も確保したいので減らしすぎは禁物だ。

サスペンションセッティングの目安

		FRONT	REAR
車高		低	低
ダンパー減衰力	伸び	強	強
	縮み	強	強
スプリングレート		硬	硬
ホイールアライメント	トー角	0	イン
	キャンバー角	ネガティブ	0
スタビライザーレート		硬	硬

※クルマの特性によってこのとおりにならない場合もあります。

意のままの操縦性を目指す。



テクニカルコース

パワーを効率よく路面に伝える

タイトコーナーの多いテクニカルコースで目指すセッティングは、素早く向きを変えられて、パワーロスなく一気にコーナーを脱出できるクルマ作り。まず車高をコースに合わせる。不都合を生じない範囲で低くしよう。

バネレートは、車体の向きを変えるキッカケ作り（挙動変化）のためフロントを柔らかく、リアを硬めに（後輪駆動車は適度に）。ダンパーもスプリングと同じ狙いでセッティング。アライメントは初期応答性重視ならフロントをトーインに振る。クリッピングポイント付近のフィーリングを求めるならトーインを減らすというように好みで合わせればいい。注意したいのがキャンバー角だ。ブレーキの効きや立ち上がりでのトラクションを確保したいので、直進時のタイヤの接地面積を減らすネガティブキャンバーはほどほどに抑えよう。

トランスミッションのギアレシオは最高速を重視せず、常に高回転域をキープできるクロスレシオにセッティングしよう。ファイナルのギア比も同様で鋭い加速が可能になる低目のものを選びたい。

エンジン特性を大きく変えられる場合は、エンジンが吹け切るレッドゾーン付近のパワーはあまり重視せず、立ち上がり加速の稼げる中低速域でのトルクを重視したい。ダウンフォースは前後ともに最大限確保するように。空力も最高速よりコーナーの安定性を重視するセッティングとするのだ。

サスペンションセッティングの目安

		FRONT	REAR
車高		低	中
ダンパー減衰力	伸び	強	弱
	縮み	強	弱
スプリングレート		硬	柔
ホイールアライメント	トー角	0	イン
	キャンバー角	0	0
スタビライザーレート		ー	ー

※クルマの特性によってこのとおりにならない場合もあります。



アンダーステア対策

どこで曲がらないのかを把握する

コーナーの進入／クリッピングポイント付近／立ち上がりのどのセクションでアンダーステアが出るのかを見極めることから始める。

進入でアンダーとなる場合は、フロントのグリップ力を最大限に確保しなければならない。柔らかいバネを使い、ダンパーは前輪への荷重移動を促すため、伸び側を固めて縮み側は柔らかくしてみよう。

足回り以外のファクターとして、LSDの効きすぎという理由も考えられる。対策はロック率とイニシャルトルクを落とすこと。後輪駆動車で、加速と減速を問わず作動する2WAYを使っているなら、減速時にはフリーになる1WAYに変更してみよう。高速コーナーであればフロントのダウンフォースを増やし、前輪のグリップを上げる対策も有効だ。

クリッピングポイント付近のアンダーは、ロールした時にタイヤの接地面積が減らないようネガティブキャンバーを増やすべきだろう。リアのトーインを減らしてグリップ力をバランスさせるといったアライメント調整が有効。可能ならフロントのトレッドを広げることも効果がある。

脱出時に問題となる後輪駆動車のプッシングアンダー対策は、フロントの車高を下げたり、フロントダンパーの伸び側とリアダンパーの縮み側を固める。逆にパワーオーバーになるようならリアを柔らかめにし、FF車で立ち上がり加速の際にアンダーが出るならLSDの効きを強くする。

サスペンションセッティングの目安

		FRONT	REAR
車高		低	高
ダンパー減衰力	伸び	強	強
	縮み	弱	強
スプリングレート		柔	硬
ホイールアライメント	トー角	イン	0
	キャンバー角	ネガティブ	0
スタビライザーレート		柔	硬

※クルマの特性によってこのとおりにならない場合もあります。



オーバーステア対策

後輪駆動車固有の悩み

FF車や4WD車に関していえば、オーバーステアで悩まされることはほとんどない。オーバーステアは後輪駆動車で問題になるケースがほとんどだ。

仮にドリフト走行がメインでコントロール性を重視するなら、むしろリアの流れる量を正確にコントロールできるよう、前後ともサスペンションを硬めにすればいい。しかしサーキットのタイムアタックであれば、クルマを前に進めるトラクションを最大限確保することを狙って対策を考えよう。

好ましくないオーバーステアになる理由の多くが、パワーオンの時に発生するリアのトラクション不足。加速しないで横方向に駆動力が逃げてしまうものだ。

対策としては、まずスプリングレートとダンパーの減衰力の調整。リアのスプリングレートを柔らかく設定し、その上でダンパーの縮み側をソフトに、伸び側をハードにしてみよう。リアのスタビライザーを柔らかくして内輪側の荷重を増やすのもいい。可能であればリアのトレッドを広げていく。一方フロントは柔らかすぎると大きな姿勢変化を起こしてリアの荷重を抜いてしまう。リアのグリップ力を確保するためにも固めのセッティングが望ましい。

リアスポイラーなどが付いているならば、角度を強めてリアのダウンフォースを増やしてみよう。ただしこの場合は最高速が犠牲になることも忘れずに。

サスペンションセッティングの目安

		FRONT	REAR
車高		中	低
ダンパー減衰力	伸び	強	強
	縮み	強	弱
スプリングレート		硬	柔
ホイールアライメント	トー角	ー	イン
	キャンバー角	ー	ネガティブ
スタビライザーレート		ー	柔

※クルマの特性によってこのとおりにならない場合もあります。



ウェットコンディション

タイヤのパフォーマンスを引き出す

当然のことだが、雨で路面のμ（摩擦係数）が低くなればトータルのグリップは大幅に少なくなる。雨のレースになった場合の基本的なセッティングを挙げておく。

スプリングレート、ダンパー、スタビライザーはドライより大幅に柔らかい方向に変更（リアのスタビライザーを外すこともある）。硬い足だとタイヤが接地しにくく、限界域で唐突に滑ることがある。そもそも硬い足回りはトータルのグリップが高い場合に必要なので、グリップの低いウェットでは不要と考えよう。キャンバーはドライ路面より若干起こして加減速時のタイヤの接地面積を稼ぐ。空力の調整が可能な車両は前後ともダウンフォースを増やしてグリップを最大限に上げてやる。

ちなみに実戦で行うもっとも簡単なウェットセッティングは空気圧の調整だ。雨が酷ければタイヤの空気圧をドライより高めにしてタイヤ接地面を狭くし、単位面積あたりの荷重を増やすことでハイドロプレーニングを防ぐ。雨量が少なければ反対に空気を下げることもある。空気圧の調整は前後のグリップ力の微調整をする際にも手間なく行えるため、セッティングの第一歩といっていい。

エンジン特性を変更できるなら、トップエンドのパワーより低中速回転域のトルクを重視する。またウェットレースの場合は、電子デバイスを頼ったほうがコントローラブルで速くなるケースが多い。電子制御デバイスの有無による挙動の違いを感じるのもひとつの楽しみ方だ。

サスペンションセッティングの目安

		FRONT	REAR
車高		低	低
ダンパー減衰力	伸び	弱	弱
	縮み	弱	弱
スプリングレート		柔	柔
ホイールアライメント	トー角	イン	イン
	キャンバー角	ネガティブ	ネガティブ
スタビライザーレート		柔	柔

※クルマの特性によってこのとおりにならない場合もあります。



グラベル

挙動コントロール性能を高める

グラベルのセッティングでもっとも大切なのは自由自在なコントロール性だ。舗装されていない路面はコンディションが安定しておらず、少し走行ラインを変えただけでも路面の摩擦係数が大きく変化する。先行車が砂利を飛び出させることも日常茶飯事で、走行順によっても路面状況が大きく変わる。サーキットのように「限界の高さを狙った」セッティングだと、路面変化に対処できないと考えよう。

こうした路面に対応する考え方の一つは、駆動方式とは無関係に「アクセルを戻したときにノーズがインを向き、アクセルをオンにしたときにニュートラルステアとなるセッティング」。基本をあえて「曲がりすぎる」設定とし、それをアクセルで補正するようなドライビングを想定したセッティングである。具体的には2WAY LSDを使用したり、ブレーキの前後バランスを前寄りにセットしてみよう。

アンダーステアやオーバーステアの対策については、舗装路面と同じ考え方でいい。また適切な車高は路面によって大きく変わる。落とせるだけ落とすのがセオリーだが、深いワダチや大きな石のあるコースだと車両にダメージを与えてしまう。ジャンプのあるコースを走るなら、滞空時の姿勢まで考えた前後の空力バランスを追求すべき。エンジン特性はトップエンドのパワーより、可能な限りレスポンスアップを図るのがベターだ。

グラベルでの速さを獲得するには、ワインディングやサーキットの常識に囚われない発想が求められるといえよう。

サスペンションセッティングの目安

		FRONT	REAR
車高		高	高
ダンパー減衰力	伸び	強	強
	縮み	強	強
スプリングレート		硬	硬
ホイールアライメント	トー角	イン	0
	キャンバー角	ネガティブ	ネガティブ
スタビライザーレート		柔	硬

※クルマの特性によってこのとおりにならない場合もあります。

NEXT P194➡


TOYOTA
TOYOTA
TOYOTA
TOYOTA
TOYOTA
WILLOW SP
TOYOTA
Carson
GOODYEAR

Ascari Full Track | Spain





4 デイトナ・バンキング17°・デイトナ



3 オー・ルージュ・スパ



1 スターティング・ストレート

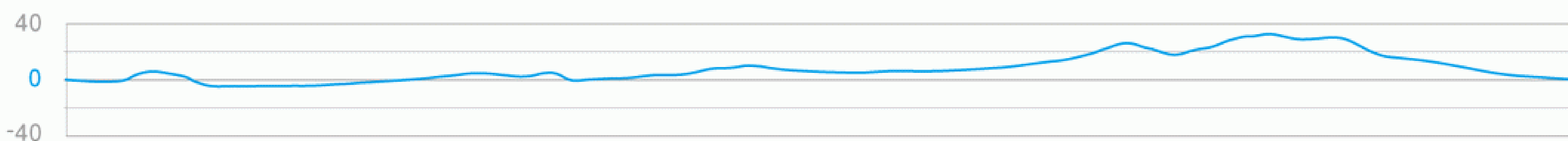
2 コプス・コーナー・シルバーストン





景観への心遣いはトラック上にも。縁石は通常の赤白ではなく自然色となっている

全長／5425m	高低差／38.56m	最大ストレート長／470m	コーナー数／26





アスカリ フルトラック

あらゆるタイプのコーナーを持つスペイン最長のレーシングトラック

元F1チャンピオン、アルベルト・アスカリの名前を戴くサーキット。中世の雰囲気が息づくスペイン南部の街、ロンダからクルマで10分ほどの場所にある自動車愛好家のための総合施設「アスカリ・レース・リゾート」のメイントラックだ。スペイン最長を誇るトラック内、全26あるコーナーのうち左右それぞれ13ずつのコーナーを持つという、テクニカルながらも非常にバランスのとれたレイアウトが特徴。スパ、シルバーストン、デイトナといった世界の著名なコーナーを模した設計も有名だ。

info クルマ、そしてクルマを愛する人のためのリゾート地

「レース・リゾート」の施設名が示す通り、他とは一線を画するコンセプトを持つこのサーキット。リゾートとしての景観を保つため、スタートゲートなど高さがある建造物は一切存在しない。現状、選手権などのレースは開催されておらず、会員以外は敷地に立ち入る事も許されない。そのエクスクルーシブさゆえ、メーカーの新車のテストやお披露目に使われる事も多い。



南欧に位置するリゾートらしく、敷地内の建物は白い壁で統一されている。レストランの隣にはサーキットを一望できる場所にプールも用意され、他のサーキットでは決して味わうことができない豊かな時間を過ごすことができる



セビリア空港からクルマでセビリア市街を抜け、国道376号線、375号線、384号線、367号線を南下してロンダ市街に到着後およそ10分。合計1時間半程度。ジブラルタル空港からのアクセスも可能

攻略ポイント

1	スターティング・ストレート	その名の通り、コントロールラインが設置されるストレート。ストレートエンドはシケインとなっている
2	コプス・コーナー・シルバーストン	シルバーストンの名物コーナーの名を与えられたセクション。本家とは構成が異なるが高速コーナーの性格は同一
3	オー・ルージュ・スパ	アップダウン＋リズミカルな連続コーナー。まさにスパのオー・ルージュを彷彿とするセクション
4	デイトナ・バンキング 17°・デイトナ	デイトナをイメージしたバンクが特徴。ロードコースとしては異例の 17 度バンクの高速コーナーとなっている

Brands Hatch | United Kingdom

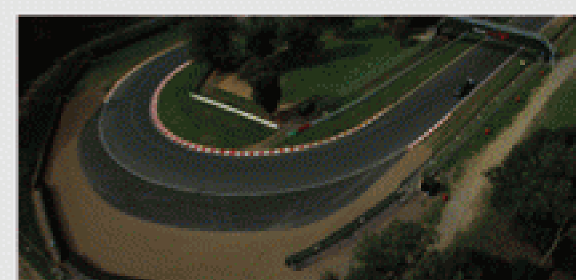




7 ブラバム・ストレート

1 パドック・ヒル・ベンド





2 ドルイド・ベンド

6 クラーク・カーブ





3 ホーソーン・ヒル

5 スターリングス・ベンド

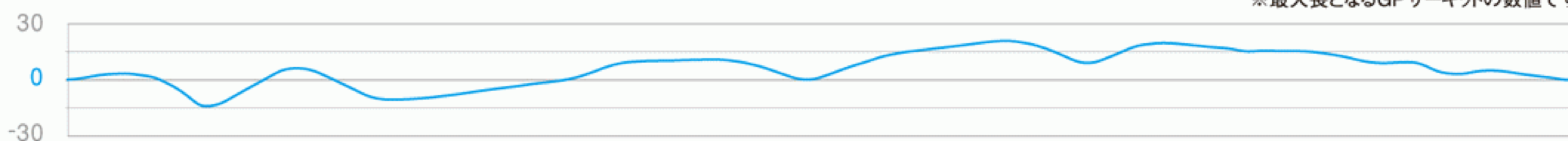
4 ディングル・デル

インディサーキット

GPサーキット

全長／3916m	高低差／35m	最大ストレート長／475m	コーナー数／9

※最大長となるGPサーキットの数値です



ブランズ・ハッチ

起伏に富んだ、歴史ある高速テクニカルコース

ロンドン南東、緑豊かなケント州に位置するブランズ・ハッチは、1950年から本格的な自動車レースを開催する歴史あるレーシングトラックである。中・高速コーナーが中心のハイスピードコースというキャラクターながら、コース幅が狭く起伏に富んでいることから、ドライバーには見た目以上にタフなコースといえる。レイアウトはふたつで、深い森の中を走るGPサーキットに加え、第4ターン“サーティース”から最終ターン“クラーク・カーブ”へとショートカットするインディサーキットがある。

info イギリスのレーサーにとっての「心のふるさと」

各セクションの名前にイギリスのそうそうたる名レーサーたちの名前を冠することからも分かるように、イギリスの現代モータースポーツの発展を語る際に欠かすことができないのがブランズ・ハッチ。過去幾多の選手権で歴史的な名勝負が繰り広げられてきたこのサーキットを心のホームグラウンドとして今もなお愛し続けるイギリスのレーサーは多い。



レースウィークはイベントホスピタリティで賑やかなパドック・ヒル・ベンドの外側は、普段は地元の走り屋の若者たちが集い、練習に余念がない。クルマを愛する若者の行動原理はまさに万国共通だ



ロンドンのビクトリア駅からスワンリー駅までおよそ1時間。スワンリー市街からはおよそ8km程度でサーキットに到着できるので、バス、タクシー、いずれの方法でも気軽にアクセスすることができる

攻略ポイント

1	パドック・ヒル・ベンド	登り坂となってるブラバム・ストレートから一気に坂を下る第一コーナー。腕と度胸が問われるセクションだ
2	ドルイド・ベンド	第一コーナーで降りた坂を再び上ってからのヘアピンコーナー。完全にブラインドでクラッシュも多い
3	ホーソーン・ヒル	深い森の中をまっすぐに伸びる急勾配のダウンヒルストレート。本コース随一のオーバーテイクポイント
4	ディングル・デル	超高速コーナー。ブラインドになっておりクリッピングポイントの確認が難しく、攻略は困難を極める
5	スターリングス・ベンド	往年の名ドライバー、スターリング・モスにちなんで名づけられたコーナー。ここを抜けると森の出口が見えてくる
6	クラーク・カーブ	右に大きく曲がる最終コーナー。入口と出口の高低差が激しいため、ギアの選択が攻略の成否を分ける
7	ブラバム・ストレート	本コースのホームストレート。ピットに向かって大きくバンクしているという、他のコースには見られない特徴がある

Circuit de Spa-Francorchamps | Belgium

N

1 ラ・スルス

2 オー・ルージュ

3 ケメル・ストレート

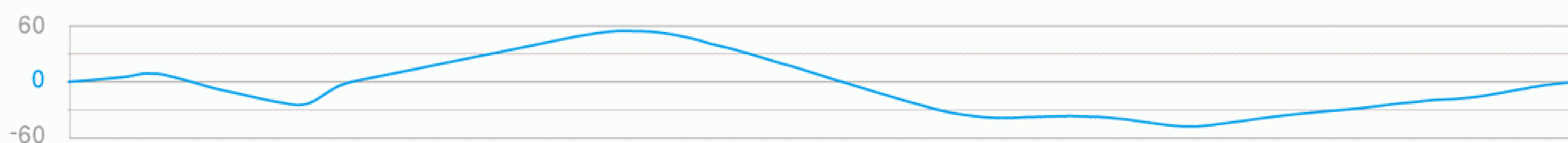
4 レ・コーム

5 プーオン

6 ブランシモン

7 バスストップ・シケイン

全長／7004m	高低差／104m	最大ストレート長／751.8m	コーナー数／21



スパ・フランコルシャン

ダイナミックなアップダウンを有す、世界屈指の高速テクニカルコース

ドイツ国境にほど近い、ベルギーはアルデンヌ地方に位置するスパ・フランコルシャンは、中・高速コーナーと長い全開区間で構成された世界屈指の高速テクニカルコースである。高低差104メートルに達する強烈なアップダウンが特徴で、まるで壁のような急坂を駆け上がる“オー・ルージュ”は、スパを代表するコーナーのひとつ。また、その標高の高さから“スパ・ウェザー”と呼ばれるほど天候が変わりやすいことも有名だ。スパで勝つためには、実力だけでなく、運も味方にする必要がある。

info サーキットを訪れる際は周辺の豊かな自然も楽しみたい

スパ・フランコルシャンの周辺地域は山がちな地形が織りなす豊かな自然が魅力。サーキット名が示す通り市街には多数の温泉があり、古来からヨーロッパ有数の保養地として栄えてきた。サーキットから15分も車を走らせれば、アルデンヌの森とはまったく違った景観を持つオートファーニュの大湿原が広がり、ベルギーの自然の持つ多彩な魅力を楽しむことができる。



古代の氷河により形成された大湿原、オートファーニュ。周辺は自然公園に指定されており、ベルギーの最高地点はこの自然公園の中にある。天候次第ではドイツ、オランダまで見渡すことができる眺望が人気

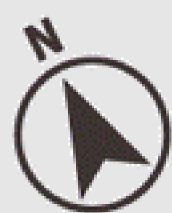


ブリュッセル中央駅から鉄道で約2時間半。ベルビエ駅で下車しバスを利用するのが便利。ベルギーの風景を楽しみながらクルマでアクセスするのも楽しい。ドイツ国境にも近いので、フランクフルトからのアクセスも可能

攻略ポイント

1	ラ・スルス	第一の難関となる鋭角なヘアピンカーブ。スタート直後に急減速を強いられるため、ここで一気に差がつく事も
2	オー・ルージュ	高速Ｓ字ならではの左右のＧに加え、勾配による縦Ｇが加わるスパ・フランコルシャン名物のＳ字コーナー
3	ケメル・ストレート	本コースの最大ストレート。オー・ルージュをどのように抜けてくるかでトップスピードが大きく変わる
4	レ・コーム	高低差の激しい本コースの最高地点。ここを抜けるとコースは一転して中高速のダウンヒルとなる
5	プーオン	下りからの高速コーナー。複合コーナーゆえ、クリッピングポイントの見極めが重要となる
6	ブランシモン	ポール・フレール・コーナーから続く超高速セクション。オー・ルージュとならびドライバーの度胸が問われる
7	バスストップ・シケイン	ラ・スルス以上の急減速が要求されるシケイン。ブレーキング勝負によるオーバーテイクポイントとしても有名

Goodwood Hillclimb | United Kingdom





ゲートの先にはエスケープゾーンは皆無。腕と度胸が試されるセクションとなる



2 モレコム・コーナー

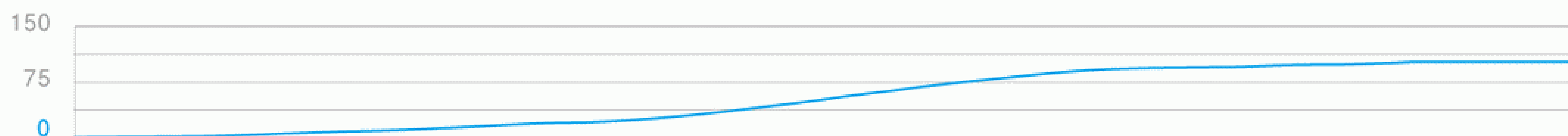


3 ザ・フリント・ウォール

1 パークストレート



全長／1867m	高低差／92.7m	最大ストレート長／360m	コーナー数／9



グッドウッド ヒルクライム

世界で最も優雅で華やかなタイムトライアルの舞台

毎年7月にイギリスで開催されるモーターレーシングの祭典「グッドウッド・フェスティバル・オブ・スピード」。この期間中、会場となるマーチ伯爵邸の敷地に設営されるのが、このヒルクライムコースである。昔ながらのストロー（藁）バリアが並ぶ素朴なコースは全長1.16マイル（約1.9キロ）。シンプルなレイアウトながらコース幅が非常に狭く難易度は高い。なお、1999年にN.ハイドフェルドがマクラーレンMP4-13で記録した41.6秒が現在のコースレコードになっている。

info 老若男女、すべての人が楽しめるモータースポーツの祭典

限られた人たちのお祭りと誤解する人もいるが、チケットを購入すれば誰でも楽しむことができるのが「グッドウッド・フェスティバル・オブ・スピード」の最大の魅力。レジャーシートやアウトドアチェア片手に、のんびりピクニック気分で遊びに来る家族連れも多い。同じ会場に集う有名レーサー達との距離も驚くほど近く、憧れのドライバーと交流することも決して夢ではない。



各メーカーの最新モデルや往年の名車が集うことは有名だが、こんな変わり種も展示される。どう見てもベッドとしか見えないがナンバーを取得した立派な「自動車」。もちろん公道走行可能だ



ロンドン、ヴィクトリア駅からチチェスター駅まで一回の乗り換えを経て90分程。イベント開催中は駅から会場までシャトルバスが運行されており迷うことはない。シャトルバス終点から徒歩数分で会場に到着する

攻略ポイント

1	パークストレート	木陰のスタート地点から一気に視界が開けるストレート、コース横には華やかに彩られたグッドウッドハウスが見える
2	モレコム・コーナー	ストレートからの左カーブ。緩やかながら道幅は狭くエスケープゾーンもないに等しく、ドライバーの勇気が試される
3	ザ・フリント・ウォール	右左に切り返すシケイン的な構成のセクション。左手は煉瓦塀で、完全なブラインドコーナーとなっている

Matterhorn | Switzerland





ローテンボーデン第7コーナー

3 ドリスタレン第1コーナー



1 ローテンボーデン第7コーナー

2 リッフェルゼー第2コーナー

ローテンボーデン
リッフェルゼー
ドリスタレン
ショートトラック

全長／3577.8m	高低差／236m	最大ストレート長／415m	コーナー数／15

※最大長となるローテンボーデンの数値です



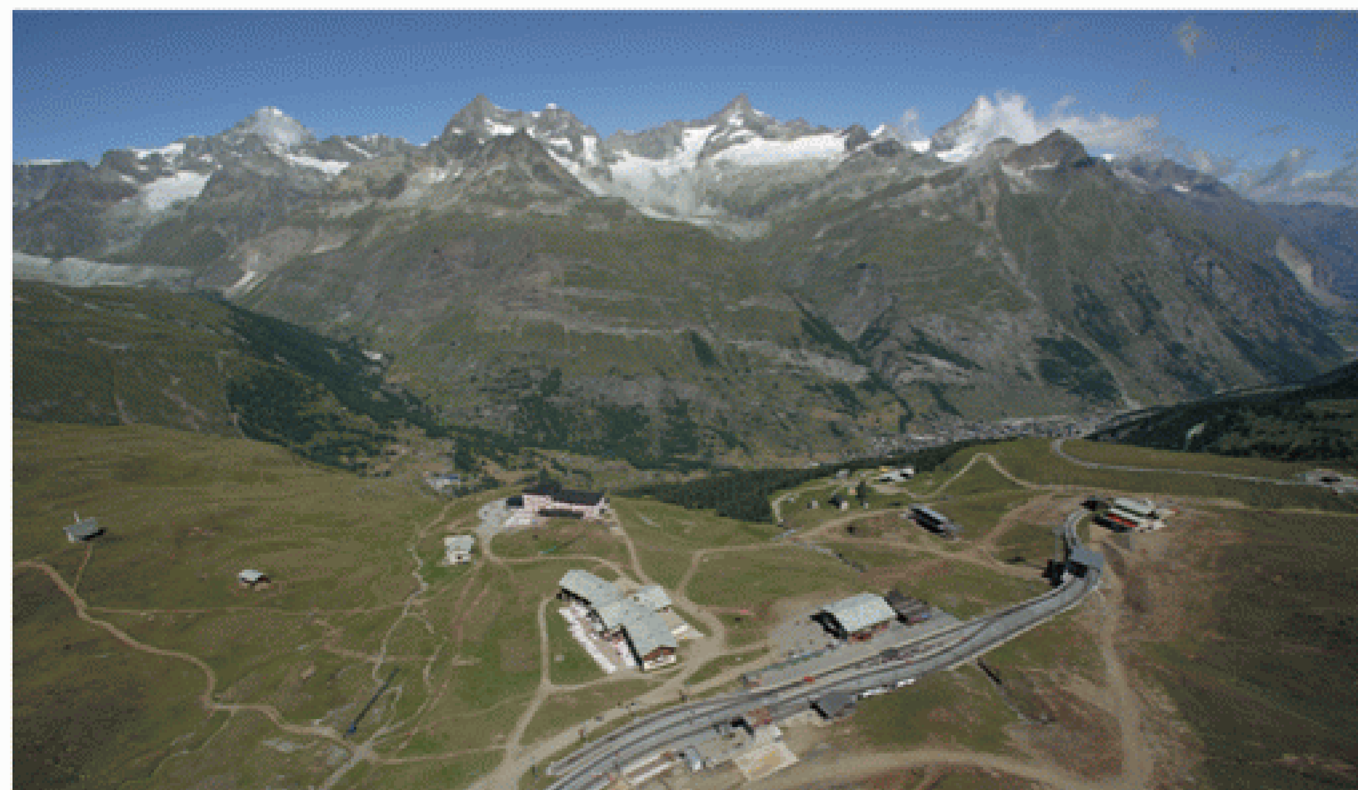
マッターホルン

4000メートル級の山々を望む山岳コース

標高3000メートルオーバー。ヨーロッパアルプスの名峰、マッターホルンを望む展望台として有名なゴルナーグラート駅周辺を舞台にしたオリジナルコース。コース内は長い全開区間と緩やかな高速コーナーで構成されたハイスピードセクション、中・低速コーナーで構成されたテクニカルセクションから成る。コース幅こそ広めだが、そこは山岳コース。荒々しい岩肌が迫るブラインドコーナーとダイナミックな急勾配の連続で、パーマネントサーキットとはひと味違うハードなトラックになっている。

info 森林限界のその先にひろがる圧倒的な世界

本コースが位置するリッフェルベルグ駅からローテンボーデン駅周辺は実に海抜2500m以上。自然を楽しむ人でにぎわうアルプス観光の中心地だ。アルプスというとスキーが思い浮かぶが、エーデルワイスをはじめとした高山植物、野生動物、そして標高の高さがもたらす景観を楽しむならば春から夏のハイキングシーズンも見逃す事はできない。



ゴルナーグラート鉄道は始発のツェルマットから終点のゴルナーグラートまで、1400mに達する高低差を約30分で結ぶ。リッフェルベルク手前で森林限界を突破した後は、標高の高さが醸し出す独特な景観が広がる



ゴルナーグラート鉄道始発駅のツェルマットまではジュネーブ空港とチューリッヒ空港のどちらからでも4時間程度。ここからリッフェルベルグまで約20分。ツェルマットは内燃機関の車両乗り入れが禁止されているので注意したい

攻略ポイント

1	ローテンボーデン第７コーナー	ローテンボーデン駅周辺を折り返してからの下り。タイトコーナーが多い中、じっくり周り込む高速コーナー
2	リッフェルゼー第２コーナー	下りセクションの締めくくりは、リッフェルベルグ側へ駆け上がるジェットコースターのようなアップダウン
3	ドリスタレン第１コーナー	マッターホルンを望む高速コーナー。バンクを利用する事が攻略の鍵。景観に目を奪われないように注意

Mount Panorama Motor Racing Circuit | Australia



1 | ヘル・コーナー



2 | マウンテン・ストレート

7 | ザ・チェイス

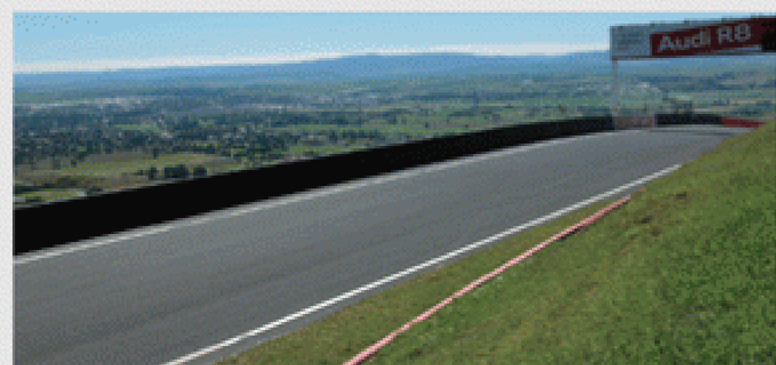


6 | コンロッド・ストレート



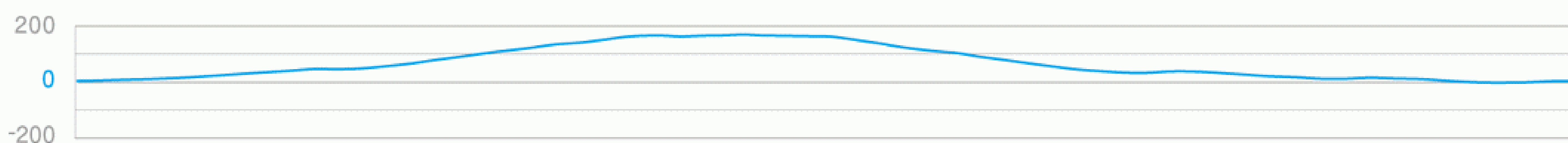
4 | ザ・ディッパー

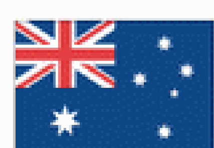
3 | ブロックス・スカイライン



5 | フォレスツ・エルボー

全長／6213 m	高低差／174m	最大ストレート長／1916m	コーナー数／23





マウント・パノラマ モーター・レーシング・サーキット

公道を利用したオーストラリアを代表するレーシングトラック

オーストラリアはニューサウスウェールズ州、バサーストに位置するマウント・パノラマ・モーター・レーシング・サーキットは、"バサースト1000"などのビッグイベントで人気のトラック。普段は公道として使用されていることが大きな特徴で、コースは大きな丘を越えるようにレイアウトされている。前半と終盤に長い全開区間があるが、それ以外は激しいアップダウンとブラインドコーナーの連続。他では見られないこのトリッキーなコース特性こそが本コース最大の魅力と言えるだろう。

info バサースト随一の景観が楽しめる

その名の通り、山がちな地形にレイアウトされたコースからの眺望が魅力のこのコース。通常は公道として開放されており、地元の散歩コースとして子どもからお年寄りまで多くの人々が行き交う。なお、クルマで訪れる際に気を付けたいのは制限速度。普段は60km/h制限となっている。警察の監視も大変厳しく、平時はレーススピードで走ることは絶対に許されない。



ブロックス・スカイライン周辺はバサースト市随一の眺望が楽しめる地元の人気スポット。昼夜を問わず訪れる市民は多いが、中でも人気なのはやはり夜景。夜ともなると多くの人々がクルマで集い、夜景を楽しんでいる



シドニーから西におよそ200km。バリアハイウェイ(国道32号線)をおよそ3時間程度でバサーストに到着する。飛行機を利用する場合、シドニーからリージョナル・エクスプレス社による定期便で50分程でアクセスできる

攻略ポイント

1	ヘル・コーナー	スタート直後の左コーナー。直角に曲がるコーナー構成は、普段は公道として利用されるこのコースならでは
2	マウンテン・ストレート	本コース前半の全開区間となる長いストレート。その名の通り、丘に向かって続く登り道となる
3	ブロックス・スカイライン	往年の名ドライバー、ピーター・ブロックの名を冠するセクション。右手に広がる景観はまさに圧巻
4	ザ・ディッパー	本コースきっての難セクション。ニュルブルクリンクを彷彿とするような道幅の狭いブラインドコーナーが続く
5	フォレスツ・エルボー	本コースの丘陵地帯の終点。二輪レーサー、ジャック・フォレストのクラッシュにちなんで名づけられたコーナー
6	コンロッド・ストレート	丘陵地帯を駆け下りてからの上下にうねるロングストレート。最高速はゆうに 300km/h 台に到達する
7	ザ・チェイス	1987 年の世界ツーリングカー選手権開催に際して設けられたシケイン。ここで大きく減速して最終コーナーに至る

Silverstone Circuit | United Kingdom



3 | コプス



2 | ウェリントン・ストレート





1 | インターナショナル・ピッツ・ストレート



7 | クラブ

4 | マゴッツ ～ ベケッツ ～ チャペル



6 | ストウ

5 | ハンガー・ストレート



- ナショナルサーキット
- インターナショナルサーキット
- GPサーキット

全長／5891m	高低差／11.34m	最大ストレート長／789m	コーナー数／18

※最大長となるGPサーキットの数値です





シルバーストン・サーキット

65年もの歴史を誇る、伝統のレーシングトラック

シルバーストン・サーキットはイギリス空軍の飛行場跡地に1948年に開業。1950年に最初のF1世界選手権イギリスGPが開催されるなど、モータースポーツ発祥の地とも言える歴史あるレーシングコース。近年の改修でよりテクニカルに変身したものの、開業当初からのハイスピードコースというキャラクターは変わっていない。本作では、北部分を使ったナショナルサーキット、南部分を使ったインターナショナルサーキット、双方を繋いだグランプリサーキットの3レイアウトを走行できる。

info バーチャルとリアルを繋ぐ起点としてのシルバーストン

「グランツーリスモ」のトッププレイヤーに、本物のプロフェッショナルレースドライバーになるチャンスを与えるプログラム「GTアカデミー」は初回開催以来、このシルバーストンを舞台に最終選考が行われてきた。2008年の初回開催から6年、シルバーストンはレーサーのみならず、すべてのグランツーリスモプレイヤーにとっての聖地となりつつある。



シルバーストンでのGTアカデミー最終選考会の風景。ドライビングテクニックはもちろん、体力、リーダーシップ、コミュニケーション能力など、レーサーに必要なすべての資質が総合的に評価される



ロンドンのユーストン駅からノーザンプトン駅まで1時間。ここからタクシーを利用して30分程度。しかしレースウィーク中のシルバーストン周辺は渋滞が激しく、時間にゆとりを持ったアクセスが望ましい

攻略ポイント

1	インターナショナル・ピッツ・ストレート	改修以後はここがホームストレートとなった。最新のホスピタリティを備えたパドック「シルバーストンウイング」が見える
2	ウェリントン・ストレート	改修を経て新たに生まれたストレート。エンドは急カーブになっており、恰好のオーバーテイクポイントでもある
3	コプス	コントロールラインの変更によりさらに進入速度が上がった超高速コーナー。トップスピードでのクリアが要求される
4	マゴッツ ～ ベケッツ ～ チャペル	シルバーストン攻略の成否を握ると言っても過言ではない連続S字コーナー。その難易度は世界屈指と言える
5	ハンガー・ストレート	約800mに達するシルバーストン最長のストレート。コース幅も広く積極的にオーバーテイクを仕掛けたい
6	ストウ	コプス同様ロングストレートからのコーナーだが、ここはブレーキングが必要。出口が遠く攻略難易度は高い
7	クラブ	ゆるやかな逆バンクとなっているブラインドコーナー。改修を経てここが最終カーブとなった

Twin Ring Motegi Road Course | Japan





1 メインストレート

3 ファーストアンダーブリッジ

7 ビクトリーコーナー

2 第4コーナー

4 S字カーブ

6 ダウンヒルストレート

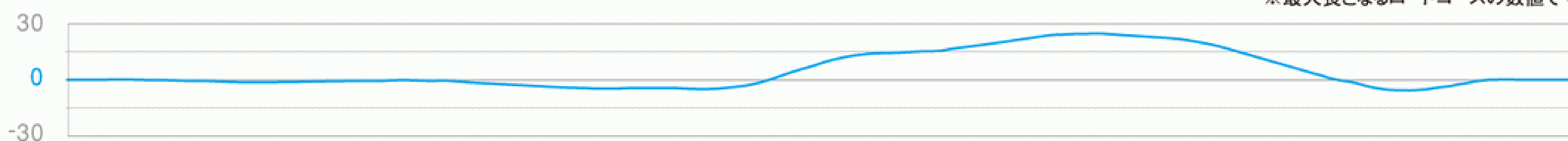
5 ヘアピンカーブ

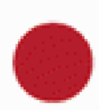


西コース
東コース
ロードコース

全長／4801m	高低差／30.4m	最大ストレート長／762m	コーナー数／14

※最大長となるロードコースの数値です





ツインリンクもてぎ・ロードコース

ホンダ第二の国際レーシングコース

ホンダが1997年に完成させた国際規格のレーシングコース、ツインリンクもてぎ。ヨーロピアンスタイルのロードコースは加減速を繰り返すストップ・アンド・ゴーのレイアウトで、同じくホンダが手がけた鈴鹿とはまったく異なる性格のトラックとなっている。ショートカットを使うことで東コース、西コース、そして最大長となるロードコースの合計3レイアウトを構成する。最大の見せ場は急勾配を駆け下りるダウンヒルストレートからの90度コーナー。ここでのブレーキング競争は熾烈を極める。

info 震災復興をモータースポーツの立場から発信

今も記憶に新しい東日本大震災。日本国内の国際格式サーキットの中ではもっとも震源に近かったこのもてぎも、震災によりコースの沈下や隆起など甚大な被害を受けた。しかし同年6月にはいち早く復旧を完了。「がんばろう!日本」を合言葉に営業を再開した。以後も継続的な復興支援イベントが開催され、日本モータースポーツにおける震災復興のシンボルとなっている。



ロードコースのコントロールラインに掲げられた「がんばろう!日本」の文字。震源にほど近いサーキットに掲げられたこの文字に、すべての日本のモータースポーツファンが勇気づけられた



東京から向かう場合やはり一番便利なのは新幹線でのアクセスで、宇都宮まで50分。ここからバスで90分ほど。タクシーを利用するとさらに早いが、レース期間は渋滞必至なので余裕を持ったスケジュールで向かうべきだろう

攻略ポイント

1	メインストレート	サーキットの顔となるホームストレート。奥はふたつのコーナーが連続し、事実上複合コーナーとなっている
2	第4コーナー	ここも第3コーナーと第4コーナーでひとつの複合コーナーを形成する。しかしこちらの方がRが強い
3	ファーストアンダーブリッジ	かなり鋭角に切れ込む第5コーナーの直後の立体交差。頭上にはスーパースピードウェイのオーバルが跨る
4	S字カーブ	左右の振れ幅がかなり大きいS字コーナー。速度を乗せるよりは短い距離のラインを意識して攻略したい
5	ヘアピンカーブ	登り坂の上にありブレーキングは比較的容易だが、丁寧にクリアして続くストレートへの速度を稼ぎたい
6	ダウンヒルストレート	本コース最長のストレート。ストレート中盤から下りとなり、エンドの右コーナーは恰好のオーバーテイクポイント
7	ビクトリーコーナー	連続する2つの左コーナーから右に切り返す、シケインのような構造となっている最終コーナー

Willow Springs International Raceway Big Willow | USA





5 スウィーパー



4 モンロー・リッジ

6 第9コーナー



ホームストレート左手のパドックエリアにはダイナーとプライベーターのガレージが

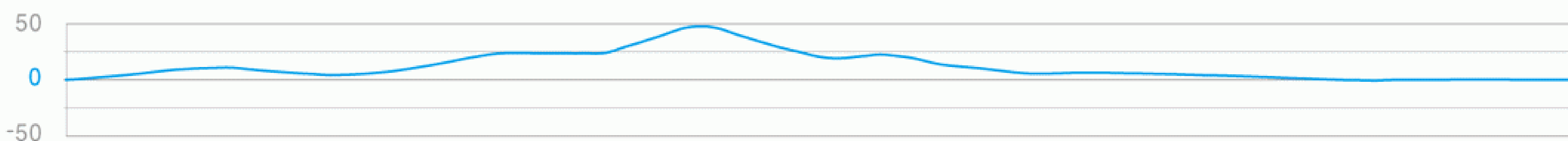
1 カストロール・コーナー

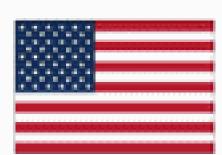
3 ジ・オメガ



2 ラビット・イヤー

全長／3951m	高低差／50m	最大ストレート長／756m	コーナー数／10





ウィロースプリングス レースウェイ ビッグ・ウィロー

地形を活かした起伏と高速コーナーが持ち味のハイスピードコース

ロサンゼルス郊外の広大な丘陵地帯にあるウィロースプリングス レースウェイは、1953年の開業時の佇まいが残る古き良きレーシングトラック。複数あるコースのなかでもメイントラックとなるビッグ・ウィローは、中・高速コーナーを中心に構成された1周2.5マイル（約4キロ）のハイスピードコース。一見やさしいコースに映るが、旋回時間が長いロングコーナーが多いためスピードコントロールが難しく、また地形変化による路面のうねりで姿勢を乱しやすいなど、シビアな一面を持っている。

info 北米グラスルーツモータースポーツの聖地

オーナー一家による家族経営のため、おおらかで牧歌的な雰囲気に満ちているウィロースプリングス。スタッフの数は少ないが、みな優しくフレンドリーで何でも相談に乗ってくれる気持ちの良い人々だ。敷地内にはいくつかのプライベーターがガレージを持っているが、近くを歩いていると気さくに声をかけられることも。整備中のクルマの話題で盛り上がるのも楽しい。



倒れそうなほどに強烈な陽射しをよそに、冷房の効いたパドックダイナーで食す食事がこのコースの隠れた魅力。アメリカンダイナーらしく、価格は安くボリュームは満点。そして味もなかなかのもの



なんといってもクルマを使ったアクセスが便利。ロサンゼルス空港から405号線を北上し、そのまま5号線、14号を辿ってロザモンドまでおよそ90分。そこから5km程度でサーキットに到着できる

攻略ポイント

1	カストロール・コーナー	ホームストレートを立ちあがってからの左コーナー。ここを超えると本コース前半のテクニカルセクションに入る
2	ラビット・イヤー	その名の通り、まるでウサギの耳のような形をしたセクション。長大なカーブゆえクリップの見極めが重要だ
3	ジ・オメガ	テクニカルセクションのほぼ中央、本コースの最高地点。上りから下りへ廻って一気に開ける広大な景色が爽快
4	モンロー・リッジ	丘状で見通しが悪いが、ここのライン取りがこの後の高速セクションのスピードに大きく響く重要なコーナー
5	スウィーパー	本サーキット攻略のカギとなる超高速コーナー。ここで出したスピードが地元レーサーの自慢のタネになるほど
6	第９コーナー	最終コーナー。一見すると難しい構成には見えないが、出口に向かって曲率が増すためライン取りが難しい

Willow Springs International Raceway Street Of Willow | USA





3 ザ・ボウル



2 第4コーナー

1 第2コーナー

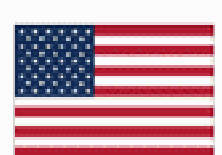
4 第11コーナー



5 第14コーナー

全長／2675m	高低差／20m	最大ストレート長／395m	コーナー数／14





ウィロースプリングス レースウェイ ストリート・オブ・ウィロー

あらゆるタイプのコーナーが用意されたテクニカルコース

ビッグ・ウィローの北側に伸びる1周1.6マイル(約2.6キロ)のショートコース。レース用というよりもテストトラックの趣きが強く、主に走行会等で利用されている。コースのキャラクターは非常にテクニカルで、2箇所ある短めの全開区間以外はつねに中・低速コーナーの連続。短めの全長ながらもその内容は濃く、シンプルな単一コーナーから複合コーナー、さらには直角コーナーと、あらゆるタイプのコーナーが用意されているため、ドライビングのスキルアップには最適なコースといえる。

info 映画の舞台にもなったモハーヴェ砂漠の砂嵐

砂漠の風や陽射しは季節を問わず過酷そのもので、サーキットでも風を避けられるウォール際がレコードラインになっているほど。砂嵐も巻き起こり、重苦しい砂色の霞が視界を奪って押しよせてくる様子はなかなかに恐ろしい。そんな荒涼とした風景のサーキットであるが、ごく稀に、雨季に十分な雨が降った年の夏にはサーキット一面が美しい緑に覆われることもあるという。



ウィロースプリングス レースウェイが位置するモハーヴェ砂漠は映画「バグダッド・カフェ」の舞台。サーキットまでのアクセスの途中、国道をクルマで走るだけでかの映画の気分に浸ることができる



基本的なアクセスは前ページのビッグ・ウィロー同様だが、多様なルートでのアクセスが可能。5号線をそのまま北上して山岳地帯を抜け、138号線に合流するコースを辿ることで、雄大なアメリカの自然を楽しむのもいい

攻略ポイント

1	第2コーナー	コース序盤はコーナーの度に10m以上の高低差がありアップダウンが激しい。この先は下りからの左カーブ
2	第4コーナー	序盤最後は上り坂からの鋭角なヘアピンコーナー。荒れた路面にマシンコントロールを失いやすい
3	ザ・ボウル	20度のバンク角を持つダイナミックな名物コーナーは「ザ・ボウル」の異名を持つ
4	第11コーナー	左に抜ける急コーナー。ストレート～緩やかなS字の終点だけにブレーキコントロールが問われる
5	第14コーナー	広大なスキッドパッドとなっている個性的なコーナー。レース時はパイロン等で線形が作られる

ba
The Gran Turismo Magazine
Beyond the Apex

Beyond the Apex

Graphic Design
阿部英一
宮下裕一

Technical Illustration
阿部忠雄

写真協力
株式会社エッチ・ケー・エス
株式会社GTアソシエイション
株式会社ソフトウェアクレイドル
トヨタ自動車株式会社
日産自動車株式会社
富士重工業株式会社
本田技研工業株式会社
マツダ株式会社
BMW AG
DAIMLER AG
International Sportsworld Communicators Ltd.

参考文献

長松昭男　「モード解析入門」　初版第7刷　コロナ社　2009
安部正人　「自動車の運動と制御」　第2版1冊　東京電機大学出版局　2012
自動車技術会　「自動車技術ハンドブック　基礎理論編」　自動車技術会　2008
自動車技術会　「自動車の運動性能向上技術」　第2刷　朝倉書店　2010
朝永振一郎　「物理学とはなんだろうか」上　第28刷　岩波書店　1992
ジョン D アンダーソン　「空気力学の歴史」初版第一刷　京都大学学術出版会　2009
藤井孝蔵　「流体力学の数値計算法」　2刷　東京大学出版会　1995



The Gran Turismo Magazine
Beyond the Apex